

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y TELECOMUNICACIONES

**“Recomendación de ubicación de transmisores para una
cobertura óptima de Televisión Digital Terrestre en la
ciudad de Cuenca, basada en un modelo de propagación
ajustado”**

Tesis previa a la obtención del título de
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

Autores:

Ismael Fabián Chacho Prado.
Henry Vladimir Zamora Castro.

Director:

Ing. Alcides Fabián Araujo Pacheco.

Cuenca - Ecuador
2016

Resumen

El presente trabajo se centra en el análisis de dos modelos de propagación radioeléctrica de uso para Televisión Digital Terrestre: el modelo de Okumura Hata y la recomendación ITU-R P. 1546-5. Estos modelos se implementan en el software denominado RadiUC desarrollado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, el mismo que permite la utilización de modelos digitales de elevaciones y permite predecir la intensidad de campo para un área determinada. El ajuste y validación del modelo de propagación se realizó considerando resultados de mediciones de campo mediante un Drive Test, en las ciudades de Quito y Cuenca con el sistema SACER.

Se estimó el error entre predicciones del modelo radioeléctrico obtenido con RadiUC, y las mediciones de campo. Con dicha estimación se analizaron las posibles modificaciones o ajustes que se podrían realizar al modelo de propagación. Se realizó la validación de los ajustes del modelo en base a un análisis estadístico de errores, contrastando con el software de simulación ICS Telecom, con el objetivo de minimizar el error con las mediciones de campo.

Se realiza un análisis de la situación actual del servicio de TDT en Cuenca simulando sitios actuales para evidenciar zonas de sombra. Con la finalidad de mejorar la cobertura, se modificaron las características del sistema de transmisión obteniendo notables mejoras. Para zonas en donde a pesar de las modificaciones no se obtienen mejoras, se analiza la posibilidad de ubicación de Gap Fillers para TDT.



Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería

Palabras clave: Cobertura, TDT, ISDB-Tb, Televisión Digital Terrestre(TDT), SACER, ITU 1546-5, Okumura Hata, ICS Telecom, RadiUC , Gap Filler.

Henry Zamora, Ismael Chacho



Abstract

This project focuses on the analysis of two propagation models often used for Digital Terrestrial Television: Okumura Hata model and ITU-R P. 1546-5 recommendation. These models are implemented in the software called RadiUC, developed in the Faculty of Engineering of the University of Cuenca, which allows the use of digital elevation models and predicts the field intensity for a given area. Setting and validation of the propagation model was performed, considering results of field measurements using a Drive Test in the cities of Quito and Cuenca with the SACER system.

The error between predictions of the radio model obtained with RadiUC and field measurements was estimated. With this estimate, any changes or adjustments that could be made to the propagation model were analyzed. Validation of the model fits was conducted via a statistical error analysis, contrasting with the simulation software ICS Telecom, in order to minimize the error with the field measurements.

An analysis of the current situation of DTT service in Cuenca is performed by simulating current sites to evidence shaded areas. In order to improve coverage, the characteristics of the transmission system were modified obtaining significant improvements. For areas where improvements are not obtained despite the modifications, the possibility of Gap Fillers location for DTT is analyzed.



Keywords: Coverage, ISDB-Tb, Digital Terrestrial Television(DTT), SACER, ITU 1546-5, Okumura Hata, ICS Telecom, RadiUC, Gap Filler.

Henry Zamora, Ismael Chacho



Índice general

Resumen	2
Abstract	4
Índice general	6
Índice de figuras.	12
Índice de tablas.	18
1. Introducción	32
1.1. Introducción	32
1.2. Antecedentes	33
1.3. Objetivos	34
1.3.1. Objetivo general	34
1.3.2. Objetivos específicos	34
1.4. Contribuciones de la tesis	35
1.5. Alcance de la tesis	35
2. Marco Teórico	37
2.1. Televisión Digital Terrestre(TDT)	37
2.1.1. Televisión analógica	37
2.1.2. Televisión digital terrestre	38
2.1.3. Ventajas de la TDT	38
2.1.4. Desventajas de la TDT	39
2.2. Normativa de TDT orientada a la propagación	40
2.2.1. Organismos de regulación y control de las te- lecomunicaciones en el Ecuador	40
2.2.1.1. ARCOTEL	40



2.2.1.2.	MINTEL	41
2.2.1.3.	Comité Interinstitucional Técnico para la implementación de la TDT . .	42
2.2.2.	Regulación vigente en el Ecuador	42
2.2.2.1.	Plan Nacional de Frecuencias (PNF)	42
2.2.2.2.	Norma técnica para el servicio de radiodifusión de TDT	43
2.3.	Revisión del estándar de televisión digital ISDB-Tb y recomendaciones internacionales conexas	46
2.3.1.	Estándar ISDB-Tb internacional	46
2.3.1.1.	Organización del canal radioeléctrico	46
2.4.	Modelos de propagación a utilizar para TDT	48
2.4.1.	Modelo Okumura-Hata	49
2.4.2.	ITU-R P.1546-5: Métodos de predicción de punto a zona para servicios terrestres en la gama de frecuencias de 30 a 3000 MHz	51
2.5.	Modelos de cobertura a revisar	51
2.5.1.	Metodología para la aplicación del modelo Okumura-Hata orientado a la TDT	52
2.5.2.	Metodología para el cálculo de potencia según la recomendación ITU-R P.1546-5 orientado a la TDT	53
2.6.	Modelos digitales de terreno	59
2.6.1.	Definición de un modelo digital de terreno (MDT)	59
2.6.2.	Modelo digital de elevación (MDE)	60
2.6.2.1.	Estructura de datos de un MDE . .	60
2.6.3.	Estructuras vectoriales	61
2.6.4.	Ráster	62
2.6.4.1.	Tamaño y resolución del pixel	63
2.6.5.	Estructura del ráster	64
2.6.5.1.	Estructura de ráster simple	64
2.6.5.2.	Estructura de ráster jerárquicos . . .	64



2.6.6.	Comparación entre los modelos vectorial y ráster	65
2.6.7.	Origen de los datos de un modelo ráster	66
2.6.8.	Rasterización de datos vectoriales	67
2.6.9.	Vectorización de datos ráster	67
2.6.10.	Formatos de un MDE ráster	68
2.7.	Información georreferenciada	69
2.8.	Sistema radiante de TDT	70
2.8.1.	Polarización	70
2.8.2.	Patrón de radiación	72
2.8.3.	Ángulo de inclinación o tilt	74
2.8.4.	Azimut	74
3.	Modelo de propagación de la señal TDT	76
3.1.	Ubicación geográfica y división política del cantón Cuenca	76
3.2.	Población de la ciudad de Cuenca	78
3.2.1.	Crecimiento poblacional	78
3.2.2.	Densidad poblacional	78
3.2.3.	Estimación de población	79
3.3.	Estimación de cobertura de acuerdo a modelos recomendados	80
3.3.1.	Modelo Okumura-Hata	80
3.3.2.	Recomendación ITU-R P.1546-5	82
3.3.3.	Comparación entre el modelo Okumura-Hata y la recomendación ITU-R P.1546-5	83
3.3.4.	Consideraciones adicionales	84
3.4.	Planteamiento y simulación del modelo de propagación de la señal TDT	85
3.4.1.	Obtención del MDE	86
3.4.2.	Descripción del software	88
3.4.3.	Desarrollo del software	88
3.4.4.	Simulación de los modelos de propagación	91



4. Mediciones de la señal de propagación	101
4.1. Recomendaciones de ARCOTEL para mediciones de TDT, y el sistema SACER	102
4.1.1. Estructura del sistema (SACER)	102
4.1.2. Recomendación para medir la señal de TDT en Cuenca	104
4.2. Drive Test (DT) de señales TDT en la ciudad de Cuenca	104
4.2.1. Objetivo del DT	104
4.2.2. Consideraciones	105
4.2.3. Frecuencia de la señal medida	106
4.2.4. Características técnicas del sistema de transmisión	107
4.2.5. Características técnicas del equipo de recepción	108
4.2.6. Resultados del drive test en Cuenca	110
4.2.7. Obtención de datos del <i>drive test</i> en Cuenca .	111
4.3. Mediciones de TDT en Quito: informe de pruebas técnicas en la ciudad de Quito	112
4.3.1. Objetivos de las mediciones	112
4.3.2. Consideraciones	113
4.3.3. Frecuencia de la señal medida	114
4.3.4. Características técnicas de los sistemas de transmisión y recepción	115
4.3.5. Resultados del <i>drive test</i>	116
4.3.6. Zonas de bajo nivel de señal	117
4.3.7. Mediciones en puntos fijos	118
4.3.8. Obtención de datos del drive test	119
5. Planteamiento del modelo ajustado	120
5.1. Depuración de datos	120
5.2. Rasterización de los datos medidos	121
5.3. Simulación con los modelos ITU-R P.1546-5 y Okumura-Hata para Quito	122



5.4.	Simulación con los modelos ITU-R P.1546-5 y Okumura-Hata para Cuenca	125
5.5.	Estimación del error para simulaciones en Quito . . .	127
5.5.1.	Error en zonas donde hay línea de vista	127
5.5.2.	Error en zonas donde no hay línea de vista . .	134
5.6.	Estimación y cálculo del error para mediciones en Cuenca	140
5.6.1.	Distribución de frecuencias	141
5.6.2.	Análisis estadístico	142
5.6.2.1.	Análisis de ajustes	144
5.7.	Modificaciones al modelo	145
5.7.1.	Patrón de radiación y tilt	145
5.7.2.	Ángulo de despejamiento	146
5.7.3.	90 % del tiempo 50 % de las ubicaciones . . .	147
5.8.	Validación del modelo de propagación	148
5.8.1.	Validación de la rasterización de la base de datos proporcionada por ARCOTEL	149
5.8.2.	Simulación utilizando el software de simulación ICS Telecom	149
5.8.3.	Validación del modelo basado en la recomendación ITU-R P.1546-5 desarrollado en el software RadiUC	152
5.8.3.1.	Validación en base al drive test	155
5.8.3.2.	Validación en base a mediciones en puntos fijos	158
6.	Ubicación de Gap Fillers	162
6.1.	Gap Filler	162
6.1.0.1.	Características de un Gap-Filler	162
6.1.1.	Ventajas de un Gap Filler	164
6.1.2.	Tipos de Gap Filler	164
6.2.	Sistema de repetición de señal de TDT	165
6.3.	Simulación considerando ubicaciones actuales	165



6.4.	Ubicación de nuevos sitios para Gap Fillers de TDT .	167
6.4.1.	Definición de zonas con bajo nivel de señal .	167
6.4.2.	Posibles ubicaciones para Gap Fillers	167
6.5.	Análisis comparativo de los sitios de cobertura para la señal de TDT	171
6.6.	Estimación de niveles de potencia para interiores . . .	178
7.	Conclusiones y Recomendaciones	182
7.1.	Conclusiones	182
7.2.	Recomendaciones	184
A.	Tablas ITU	186
B.	Detalle Drive Test	191
C.	Ficha Técnica de Equipos	192
D.	Medidas En Puntos Fijos	195
E.	Ficha Técnica de Equipos-ECUADOR TV	196
F.	Ficha Técnica de un GAP FILLER Comercial	198
G.	Tablas de Resultados	199
	Bibliografía.	202

Índice de figuras.

2.1. Canalización de Bandas de Frecuencias.	45
2.2. Bandas de guarda superior e inferior de un canal. . .	47
2.3. Organización del canal en segmentos.	48
2.4. Gráfico demostrativo de los parámetros de la ecuación 2.2.	53
2.5. Intensidad de Campo en $dB(\mu V/m)$ en función de la distancia. [1]	55
2.6. Alturas representativas de obstáculos a tomar en cuenta en la predicción.	57
2.7. Procesos básicos implicados en la creación, manejo y explotación de los MDEs [2].	61
2.8. Tipos de Ráster. [3]	62
2.9. Diferencia entre el sistema de coordenadas ráster y cartesiano. [3]	63
2.10. Estructura de Ráster Simple. [3]	65
2.11. Codificación ráster mediante árboles cuaternarios . .	66
2.12. Orientación de campo eléctrico y magnéticos en polarizaciones horizontal y vertical. [4]	71
2.13. Diagrama de radiación en el plano horizontal de una antena con polarización horizontal [5].	72
2.14. Diagrama de radiación en el plano vertical de una antena con polarización horizontal [5].	74
2.15. Antena parabólica con un azimuth de 180 grados. . . .	75



3.1. Parroquias urbanas del cantón Cuenca [6].	77
3.2. Perfil de elevación desde el cerro de Ictocruz para una distancia de 5km. Fuente: <i>GoogleEarth</i> [®]	81
3.3. Grafico de la intensidad de potencia en función de la distancia para la ITU-R P.1546-5 y el modelo Okumura-Hata.	85
3.4. Mapa de la ciudad de Cuenca para obtener un MDE. Fuente: [7].	86
3.5. Mapa de las zonas geográficas S03W79 y S03W80. . .	87
3.6. Diagrama de bloques de las etapas del software. . . .	88
3.7. Interfaz gráfica del programa.	91
3.8. Herramientas de iluminación.	91
3.9. MDE de Cuenca en RadiUC desarrollado en Matlab. .	92
3.10. Perfil estático de elevación.	93
3.11. Gráfico de la intensidad de campo $dB(\mu V/m)$ para Cuenca según el modelo Okumura-Hata.	94
3.12. Gráfico de la intensidad de campo $db(\mu V/m)$ para Cuenca según el modelo Okumura-Hata en Google Earth.	95
3.13. Variación de la intensidad de campo $db(\mu V/m)$ en función de la distancia.	95
3.14. Gráfico de la Intensidad de Campo $dB(\mu V/m)$ para Cuenca según la recomendación ITU-R P.1546-5. . .	97
3.15. Gráfico de la intensidad de campo $dB(\mu V/m)$ para Cuenca según recomendación ITU-R P.1546-5.en Google Earth.	97
3.16. Variación de la intensidad de campo $dB(\mu V/m)$ en función de la distancia.	98
4.1. Estación móvil de monitoreo.	105
4.2. Mediciones de bandas de frecuencia de los canales físicos 47 y 48.	106



4.3.	Diagrama general del sistema de transmisión de TDT de Ecuador TV en Cuenca. Fuente: Ecuador TV. . . .	107
4.4.	Torre de la antena de ECUADOR TV.	108
4.5.	Tipo de antenas utilizadas en la estación móvil. . . .	110
4.6.	Ruta seguida en el DT Cuenca.	112
4.7.	Obtención de valores de intensidad de campo para una coordenada.	113
4.8.	Banda de frecuencia que opera CANAL UNO.	114
4.9.	Zona de mediciones del DT.	117
5.1.	Proceso de filtrado de las mediciones.	121
5.2.	Ráster de las mediciones para Quito. Fuente: ARCO-TEL.	123
5.3.	Archivo de rasterización de la base de datos para Cuenca.	124
5.4.	Predicciones iniciales para la ciudad de Quito.	125
5.5.	Predicciones iniciales para la ciudad de Cuenca. . . .	126
5.6.	Apariciones de los niveles de potencia del Drive Test (DT), recomendación ITU-R P.1546-5 (PR), y modelo Okumura-Hata (OH).	129
5.7.	Histograma de la diferencia entre el Drive Test (DT) y los modelos de predicción (ITU-R P.1546-5 (PR), Okumura Hata(OH)).	130
5.8.	Gráfico de proporción de la cantidad de muestras con LOS, Inválidas, Sin LOS y Atípicos.	131
5.9.	Distribución de frecuencias con respecto a los azimuts del arreglo de antenas usado para la transmisión de TDT en Quito.	135
5.10.	Superposición del DT y la PR para Quito.	136
5.11.	DT y PR en zonas de sombra (sin línea de vista). . .	137
5.12.	DT y PR en zonas de sombra adicionales.	138
5.13.	Histograma de la diferencia entre el DT e ITU-R P.1546-5 (PR) para zonas sin línea de vista.	139



5.14. Distribución de diferencias entre el DT y ITU-R P.1546-5 (PR) para zonas sin línea de vista.	140
5.15. Apariciones de los niveles de potencia del DT con antena receptora de polarización horizontal y vertical, recomendación ITU-R P.1546-5 (PR), y modelo Okumura-Hata (OH).	141
5.16. Histograma de la diferencia entre el Drive Test (DT) y los modelos ITU-R P.1546-5 (PR) Okumura-Hata (OH) para Cuenca.	142
5.17. Histograma de la errores con respecto al ángulo entre el DT y la recomendación ITU-R P.1546-5.	144
5.18. Intensidad campo para el 10 % de tiempo y 50 % de los sitios de recepción [1].	148
5.19. Archivos rasterizados del DT sobrepuestos en Google Earth al archivo proporcionado por ARCOTEL.	150
5.20. Configuración en Antios del patrón e radiación del arreglo de antenas.	151
5.21. Patrón de radiación total del arreglo configurado en Antios.	152
5.22. Predicción del nivel de señal de TDT en ICS Telecom para Quito. Fuente: ARCOTEL.	153
5.23. Comparación gráfica de predicciones. Fuente: ARCOTEL.	154
5.24. Distribución de frecuencias de nivel de potencia en dBm.	156
5.25. Histograma de errores absolutos.	157
5.26. Comparación entre niveles de potencia medida en puntos fijos, predicciones de los modelos e ICS Telecom.	160
6.1. Esquematización de un Gap Filler. Tomado de http://www.selecom.fr/gapfiller	163
6.2. Esquema de un Gap-Filler.	163



6.3.	Configuración del sistema de transmisión en RadiUC.	166
6.4.	Gráfico de los niveles de potencia dBm para Cuenca de acuerdo al modelo validado simulado en RadiUC.	167
6.5.	Zonas con bajo nivel de potencia en la zona urbana y suburbana de Cuenca.	168
6.6.	Ubicación del Gap Filler para el sector Carmen de Sinincay (Z_s1).	170
6.7.	Ubicación del Gap Filler para el sector Carmen de Bellavista(Z_s2).	172
6.8.	Ubicación del Gap Filler para el sector Chaullabamba (Z_s3).	173
6.9.	Borde del área del MDE de Cuenca Urbano, Suburbano y parte de la zona Rural.	174
6.10.	Gráfico del proporción de cobertura en Cuenca con un transmisor de 200W.	175
6.11.	Gráfico de la proporción de cobertura en Cuenca con un transmisor de 2150W.	176
6.12.	Predicción de cobertura con un transmisor de 2150 W y un Gap Filler en el sector de Bellavista.	177
6.13.	Predicción de cobertura con un transmisor de 2.150 W y un Gap Filler en el sector de Sinincay.	177
6.14.	Predicción de cobertura con un transmisor de 2.150 W y un Gap Filler en el sector de Chaullabamba.	178
6.15.	Gráfico de la proporción de cobertura en Cuenca con un transmisor de 2.150W y el GF en Bellavista, GP Sinincay y GF Chaullabamba.	179
6.16.	Gráfico de proporciones para la cobertura en interiores.	181
C.1.	Características Técnicas de la Antena [8]	193
C.2.	Características Técnicas de la Antena [8]	194
E.1.	Características Técnicas de la Antena de ECUADOR TV [8]	196



E.2. Características Técnicas de la Antena de ECUADOR TV [8]	197
F.1. Características técnicas típicas de un Gap Filler . . .	198
F.2. Potencia de Salida de un Gap Filler	198



Índice de tablas.

2.1. Distribución de bandas de frecuencia para televisión análoga según el PNF y la ITU.	43
2.2. Bandas de frecuencias principales.	44
2.3. Características técnicas para la relación con la por- tadora y la atenuación mínima para una transmisión de TDT.	45
2.4. Condiciones para aplicar el modelo de Okumura-Hata.	50
2.5. Ventajas (V) y Desventajas (D) de los MDT ráster y vectorial. [9]	66
3.1. Descripción de las Parroquias Urbanas del Cantón Cuenca [6].	77
3.2. Población del cantón Cuenca. Fuente: INEC-2010.	78
3.3. Proyección de la población ecuatoriana, Fuente: INEC- 2010.	78
3.4. Densidad poblacional zona urbana de Cuenca. Fuen- te: INEC-2010.	79
3.5. Proyección de los habitantes a los que influencia el proyecto.	79
3.6. Valores de alturas a una distancia determinada.	81
3.7. Intensidad de campo y porcentaje de diferencia entre modelos de propagación.	84
3.8. Características del MDE obtenido.	87



3.9. Parámetros del sistema para la simulación de los modelos de propagación.	93
3.10. Intensidad de campo para las parroquias urbanas de Cuenca según Okumura-Hata.	96
3.11. Intensidad de campo para las parroquias urbanas de Cuenca según ITU-R P.1546-5.	99
4.1. Canalización de bandas de frecuencia canal físico 47.	106
4.2. Características del transmisor de ECUADOR TV (fuente: ECUADOR TV).	109
4.3. Características del receptor de ECUADOR TV (fuente: ARCOTEL).	111
4.4. Formato del archivo en Excel que contiene todas las muestras del DT Cuenca.	111
4.5. Combinación de parámetros técnicos para operación de transmisores.	114
4.6. Características del transmisor de CANAL UNO (fuente: ARCOTEL).	115
4.7. Características del receptor de CANAL UNO (fuente: ARCOTEL).	116
4.8. Valores del DT.	117
4.9. Resultados de mediciones en puntos fijos, Quito.	118
5.1. Muestra sin valores de latitud ni longitud GPS fix=0.	121
5.2. Características del ráster para la ciudad de Quito.	122
5.3. Comparación entre el DT (DT) y las predicciones (ITU y Okumura-Hata).	128
5.4. Indicadores estadísticos entre el DRIVE TEST (DT) y las predicciones de la recomendación ITU-R P.1546-5 (PR) además del modelo Okumura-Hata(OH).	132
5.5. Evaluación estadística entre DT-PR y el DT-OH.	133
5.6. Indicadores estadísticos entre el DRIVE TEST (DT) y las predicciones de la recomendación ITU-R P.1546-5 (PR) para zonas sin línea de vista.	138



5.7. Evaluación estadística entre DT-PR.	139
5.8. Indicadores estadísticos entre el DRIVE TEST (DT), las predicciones de la recomendación ITU-R P.1546-5 (PR) y el modelo Okumura-Hata(OH) para Cuenca. .	143
5.9. Evaluación estadística entre DT-PR y el DT-OH. . .	143
5.10. Cálculo de Indicadores estadísticos para los 3914 va- lores de las mediciones y las predicciones de la reco- mendación ITU-R P.1546-5.	157
5.11. Cálculo de Indicadores estadísticos para los 3914 va- lores de las mediciones y las predicciones de la reco- mendación ITU-R P.1546-5.	158
5.12. Mediciones y predicciones de intensidad de campo para diferentes zonas de Quito.	159
6.1. Ubicación del Gap Filler para la zona Z_s1.	169
6.2. Ubicación del Gap Filler para la zona Z_s2.	171
6.3. Ubicación del Gap Filler para la zona Z_s3.	171
6.4. Rangos de valores para predicciones con Gap Fillers. .	174
6.5. Área de cobertura en base a niveles de potencia . . .	180
6.6. Área de cobertura en base a niveles de potencia para interiores.	180
A.1. Valores de Campo Eléctrico Tabulados(1), 50 % de las ubicaciones, 50 % del tiempo	187
A.2. Valores de Campo Eléctrico Tabulados (2), 50 % de las ubicaciones, 50 % del tiempo.	188
A.3. Valores de Campo Eléctrico Tabulados(1), 50 % de las ubicaciones, 10 % del tiempo	189
A.4. Valores de Campo Eléctrico Tabulados(2), 50 % de las ubicaciones, 10 % del tiempo	190
B.1. Detalles del Drive Test realizado por ARCOTEL el 14 de agosto del 2014.	191



D.1. Valores de coordenadas de los puntos en donde se realizaron las mediciones en puntos Fijos en la Ciudad de Quito. Fuente: ARCOTEL.	195
G.1. Tabla de mediciones hechas en el Drive Test para la ciudad de Cuenca	200
G.2. Tabla de mediciones hechas en el Drive Test para la ciudad de Cuenca	201





Yo, *Ismael Fabián Chacho Prado*, autor de la tesis *Recomendación de ubicación de transmisores para una cobertura óptima de Televisión Digital Terrestre en la ciudad de Cuenca, basada en un modelo de propagación ajustado*, certifico que todas las ideas, opiniones, y contenidos expuestos en la presente investigación, son de exclusiva responsabilidad de sus autores.

Cuenca, Octubre 2016.

Ismael Fabián Chacho Prado

C.I. 0104923297



Yo, *Henry Vladimir Zamora Castro*, autor de la tesis *Recomendación de ubicación de transmisores para una cobertura óptima de Televisión Digital Terrestre en la ciudad de Cuenca, basada en un modelo de propagación ajustado*, certifico que todas las ideas, opiniones, y contenidos expuestos en la presente investigación, son de exclusiva responsabilidad de sus autores.

Cuenca, Octubre 2016.

Henry Vladimir Zamora Castro

C.I. 1400761829



Yo, *Ismael Fabián Chacho Prado*, autor de la tesis *Recomendación de ubicación de transmisores para una cobertura óptima de Televisión Digital Terrestre en la ciudad de Cuenca, basada en un modelo de propagación ajustado*, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de *Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones*. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, Octubre 2016.

Ismael Fabián Chacho Prado

C.I. 0104923297



Yo, *Henry Vladimir Zamora Castro*, autor de la tesis *Recomendación de ubicación de transmisores para una cobertura óptima de Televisión Digital Terrestre en la ciudad de Cuenca, basada en un modelo de propagación ajustado*, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de *Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones*. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, Octubre 2016.

Henry Vladimir Zamora Castro

C.I. 1400761829



CERTIFICO

Que el presente proyecto de tesis: *Recomendación de ubicación de transmisores para una cobertura óptima de Televisión Digital Terrestre en la ciudad de Cuenca, basada en un modelo de propagación ajustado* fue dirigido por mi persona.

Ing. Alcides Fabián Araujo Pacheco.
Director de Tesis

Agradecimientos

Al Ing. Alcides Araujo por su guía y su valioso aporte en la realización de este proyecto.

Agradecemos al Ing. Edgar Ochoa por su apoyo a través de la ARCOTEL y a la unidad técnica de control y gestión del espectro radioeléctrico por el soporte técnico y logístico para el desarrollo de esta tesis.

Al MINTEL y la UIT por brindarnos la información necesaria para el avance de este trabajo.

A la comunidad universitaria: directivos, profesores y trabajadores de la Universidad de Cuenca ya que nos han acompañado de una u otra manera durante estos años de estudio y en la culminación de esta tesis.

A todas las personas que nos han brindado palabras de aliento: familia, amigos y compañeros por su noble y valioso apoyo, del que siempre aprendemos.

Finalmente, a toda esa energía infinita que nos ha permitido culminar de manera alegre esta etapa universitaria en nuestras vidas.

Dedicatoria

El presente trabajo dedico a mi familia: Amada, Juan, Denis, Erika y Brayan, que siempre han mantenido su apoyo incondicional a través de los años. Todos ellos, sin excepción, han contribuido con su aporte personal para enseñarme a luchar por aquellos que amamos.

Henry.

Dedico este proyecto a mi familia: Olga, Claudio y Karla Natalí, quienes con su apoyo, amor y palabras de aliento han sabido apoyarme durante esta etapa universitaria y son un maravilloso regalo de la existencia. A la familia, profesores, amigos, hermanos del fuego, compañeros de arte y personas de quienes he aprendido, por su valiosa presencia en mi vida.

Ismael.

Abreviaturas y Acrónimos

- TDT:** Televisión Digital Terrestre.
- ARCOTEL:** Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.
- MDT:** Modelo Digital de Terreno.
- Google Earth:** Programa de georeferenciación utilizado para visualización de mapas.
- MDE:** Modelo Digital de Elevación.
- INEC:** Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
- ATSC:** Advanced Television Systems Committee.
- DVB-T:** Digital Video Broadcasting.
- DVB-T:** Digital Video Broadcasting.
- HD:** High Definition o High Quality.
- SD:** Standard Definición.
- VHF:** Very High Frequency.
- UHF:** Ultra High Frequency.
- SUPERTEL:** Superintendencia de Telecomunicaciones.
- ADSL:** Asymmetric Digital Subscriber Line.
- SFN:** Red de frecuencia única.
- CONATEL:** Consejo Nacional de telecomunicaciones.
- SENATEL:** Secretaria Nacional de Telecomunicaciones.
- MINTEL:** Ministerio de telecomunicaciones y sociedad de la información.
- CITDT:** Comité Interinstitucional Técnico para la implementación de la televisión Digital Terrestre.
- SENECYT:** Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación.
- PNF:** Plan Nacional de Frecuencias.



UIT: Unión internacional de Telecomunicaciones .

ABNT: Asociación Brasileña de Normas Técnicas.

OFDM: Multiplexación por división de frecuencia ortogonal.

MER: Tasa de error de modulación.

NTSC: National Television System Committee.

MPEG: Moving Picture Experts Group.

ANATEL: Agencia Nacional de Telecomunicaciones (BRASIL).

UIT-R P.1546-5: Métodos de predicción de punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 3 000 MHz.

MDT: Modelos Digital de Terreno.

MDE: Modelo Digital de Elevación.

RGB: red, green, blue Color Model.

SIG: Sistemas de Información geográfica.

ESRI: Environmental Systems Research Institute.

ASCII: American Standard Code for Information Interchange.

ECW: Earth Resource Data Analysis System.

WGS84: Sistema Geodetic 1984 del mundo.

UTM: Universal Transversal de Mercator.

RF: Radio Frecuencia.

S.A.C.E.R.: Sistema automático de control del espectro radioeléctrico.

R&S: Rohde & Schwarz.

CCA: Centro de control alterno.

CCR: Centros de control regional.

EF: Estaciones fijas de monitoreo.

ERT: Estaciones remotas transportables de monitoreo.

EM: Estaciones de monitoreo móviles.

WAN: Wide Area Network.

GPS: Global Positioning System.

DDF: Digital Directional Finder.

OL: Oscilador Local.

FI: Frecuencia Intermedia.

dB: Decibelio.

dBd: Decibel relativo al dipolo de media onda.



dB μ V/m: Decibel relativo a 1 micro Voltio/metro.

FEC: Corrección de errores hacia adelante (Forward Error Correction).

Hz: Hertzio (ciclo/segundo).

ISDB-T: Radiodifusión Digital Terrestre de Servicios Integrados (Integrated Services Digital Broadcasting - Terrestrial), estándar de televisión digital desarrollado por Japón.

ISDB-Tb: La letra b indica las modificaciones al estándar hechas en Brasil.

MFN: Red de múltiples frecuencias (Multiple Frequency Network).

QAM: Modulación de amplitud en cuadratura (Quadrature Amplitude Modulation).

RF: Radiofrecuencia (Radio-Frequency).

SFN: Red de Frecuencia Única (Single Frequency Network).

μ W: micro Vatio.

W: Vatio.

MIEM: Ministerio de Industrias, Energía y Minas de Uruguay.

DT: Drive Test.

LOS: Línea de vista.

GF: Gap Filler.

PR: Predicción de la recomendación ITU1546-5.

OH: Predicción del Modelo Okumura Hata.

Tx: Transmisor de TDT.

Rx: Receptor de TDT.

Capítulo 1

Introducción

En este capítulo se exponen ideas generales sobre el proyecto.

1.1. Introducción

De acuerdo con Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), en Ecuador, el 94 % de la población cuenta con un receptor de televisión en su hogar, de ellos al menos el 90 % tiene dos de estos aparatos; esto comprueba que en el Ecuador uno de los medios de comunicación más usados es la televisión. Actualmente en el Ecuador la transmisión de televisión es mayoritariamente analógica, sin embargo, con los avances de las redes de cuarta generación nace la necesidad de aprovechar el espectro electromagnético, con esta finalidad la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), ha manifestado que el apagón analógico está previsto para el 2018 [10] y que permitirá liberar las bandas I y III de VHF, incluyendo las señales de televisión abierta que pasarán a ser digitales [11], esto permitirá la introducción de nuevos servicios. Además, la asignación de la banda 512-698 MHz para el servicio de Televisión Digital Terrestre (TDT) liberará la banda de 700 MHz, la cual será utilizada para el despliegue de redes de cuarta generación (4G).

La TDT proporcionará mayor calidad en la imagen, así como beneficios adicionales para el televidente como movilidad e interactividad [12]. Esto beneficiará directamente a pequeñas y medianas empresas de telecomunicaciones que brinden servicios de instalación de equipos, aplicaciones de interactividad creando un



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

nuevo mercado, además la calidad en el servicio de TDT mejorará considerablemente.

La TDT ha sido implementada en latinoamérica en tres estándares diferentes (ATSC, ISDB-Tb y DVB-T/T2/H) [13]. El gobierno ecuatoriano tomó la decisión de adoptar el estándar de televisión digital ISDB-Tb (Difusión Digital de Servicios Integrados Terrestres con modificación brasileña), registro oficial No 172-15 de abril de 2010, que implica la necesidad de establecer el marco regulatorio para el servicio de televisión digital, que los canales de televisión digitalicen su señal y que la academia investigue y continúe aportando más al desarrollo de esta tecnología, para formar parte activa de este cambio inminente y obtener un resultado satisfactorio en la implementación de la televisión digital terrestre en el Ecuador.

1.2. Antecedentes

Al igual que en el resto del país, en Cuenca, la televisión es uno de los medios de comunicación más utilizados. Actualmente las estaciones de Ecuador TV HD y TELECUENCA están autorizadas para la operación de TDT, pero solamente la señal de Ecuador TV se está transmitiendo [14].

Dado que el apagón analógico está previsto para el 2018, se espera que nuevos transmisores y repetidores estarían en operación en la ciudad de Cuenca hasta dicha fecha. No se conoce de un estudio en detalle que recomiende la ubicación de estos nuevos repetidores, así como la solución para las zonas de sombra. Por otro lado, los modelos de propagación utilizados en la estimación de zonas de cobertura son los recomendados internacionalmente pero tampoco se conoce de un proceso de validación de los modelos para nuestro medio.

Es así que nace la idea desarrollar la tesis: “Recomendación de ubicación de transmisores para una cobertura óptima de Televisión Digital Terrestre en la ciudad de Cuenca, basada en un modelo de propagación ajustado”, que permita obtener un modelo de propagación validado para nuestro medio basado en las recomendaciones internacionales.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

El objetivo del proyecto es realizar un estudio de propagación de la señal para TDT validando o ajustando el modelo que más se adecúe a la ciudad, realizando mediciones de la señal en el campo y respetando las normas establecidas por la ARCOTEL.

Con esta finalidad, se generará recomendaciones para la ubicación de nuevos transmisores, que permitan una mejor cobertura del servicio de TDT, obteniendo un modelo de propagación óptimo para la señal digital de televisión terrestre en la ciudad de Cuenca que sirva de base para la planificación de cobertura a nivel del austro.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Analizar varios modelos de propagación y encontrar el más adecuado para las señales de televisión digital terrestre en la ciudad de Cuenca. Ajustar los parámetros a la realidad local mediante un contraste entre simulación y medición.
2. Validar el modelo de propagación a través de paquetes de software de simulación
3. Realizar mediciones en puntos estratégicos con el modelo escogido y obtener el error entre el valor teórico y el valor medido en campo.
4. Modificar, probar y afinar el modelo escogido mediante un análisis de variables y mediciones posteriores con la finalidad de reducir el error.
5. Simular el nuevo modelo.



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

6. Plantear ubicaciones para transmisores y retransmisores con la finalidad de obtener una mejor cobertura.

1.4. Contribuciones de la tesis

Las contribuciones del presente trabajo son las siguientes:

1. Validación de un modelo técnico de propagación de la señal de TDT que se acople a las características topográficas de la ciudad de Cuenca.
2. Obtención de una estimación efectiva de la cobertura de la señal de TDT en la ciudad.
3. Planteamiento de posibles ubicaciones para estaciones transmisoras de señales de TDT que permitan obtener niveles de cobertura óptimos para la ciudad.
4. Planear la posible ubicación de pequeños transmisores (Gap-Fillers) para las zonas de sombra.

Durante el desarrollo de la tesis se presenta paso a paso el procedimiento para obtener el modelo de propagación validado para la ciudad de Quito; a pesar de esto, el procedimiento sirve para la ciudad de Cuenca debido a la similitud de su arquitectura. El aporte de la tesis puede ampliarse en desarrollos posteriores para el ajuste de modelos de propagación en otras aplicaciones de telecomunicaciones.

1.5. Alcance de la tesis

Se establece que el desarrollo del proyecto de tesis permitirá obtener un modelo de propagación de TDT validado para la ciudad de Cuenca de manera prioritaria para la zona urbana y suburbana de la ciudad, es decir, consideraremos las 15 parroquias urbanas y parte de las parroquias rurales.



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Los modelos digitales de terreno MDT que se van a usar son obtenidos a través de mapas satelitales provistos por la USGS(Servicio Geológico de los Estados Unidos) y están a disposición libre en la web oficial de este organismo.



Capítulo 2

Marco Teórico

En este capítulo se presentan conceptos fundamentales en los cuales se basa el desarrollo del presente trabajo.

2.1. Televisión Digital Terrestre(TDT)

2.1.1. Televisión analógica

La televisión analógica convencional fue desarrollada en la década de 1930, en un momento de rápidos avances en las telecomunicaciones, en lo referente a la transmisión de audio y video [15]. Los estándares de televisión fueron el resultado de estos avances y revelan las limitaciones tecnológicas de la época. Desde el principio, se basaron en el estudio de la visión humana para lograr optimizar los recursos escasos como el ancho de banda y la capacidad de procesamiento.

Con el paso del tiempo, además del incremento de la utilización de la televisión en todo el mundo, se fueron desarrollando diversas tecnologías con la finalidad de agregar color a la imagen, nuevas tecnologías de transmisión, entre otros avances que han ido permitiendo optimizar la calidad de la imagen así como la eficiencia en la transmisión.

El 5 de diciembre de 1959, en el Ecuador se empieza a regular la concesión de canales de televisión, es así, que esta fecha se constituye el nacimiento legal de la televisión en el Ecuador [16]. De ahí en adelante su desarrollo y penetración fue vertiginoso, llegando a constituirse en el aparato máspreciado en el Ecuador

según el estudio socio-económico de la SUPERTEL hoy ARCOTEL.

En la actualidad, en nuestro país todavía la transmisión de televisión es mayoritariamente analógica, transmitida en las bandas UHF y VHF, sin embargo con el objetivo de optimizar el uso del espectro se está pasando de una transmisión analógica a transmisiones puramente digitales dando como resultado el llamado apagón analógico que en el Ecuador está previsto para el 2018.

2.1.2. Televisión digital terrestre

Hoy en día ya no se habla de televisión analógica, sino de televisión digital, pudiendo ser esta por cable, por satélite, por ADSL y terrestre, para la gran mayoría de la población no es posible el solventar los costos de un servicio pagado de televisión, de ahí la importancia de la televisión digital terrestre (TDT) en los países en vías de desarrollo porque se constituye en una herramienta que permite disminuir las brechas sociales, ya que permite a todos los estratos sociales disponer de aplicaciones interactivas como; comercio electrónico, servicios públicos de educación y salud, entre otros [16].

La TDT debe su nombre a la tecnología que utiliza para transmitir su señal. En contraste con la televisión tradicional que codifica los datos de manera analógica, la televisión digital codifica sus señales de forma binaria, habilitando la posibilidad de crear vías de retorno entre consumidor y productor de contenidos, es decir interactividad.

2.1.3. Ventajas de la TDT

Las ventajas de una transmisión digital, sobre una analógica, son variadas; resaltando entre estas, la optimización en el uso del espectro que en el Ecuador. A continuación se mencionan ventajas adicionales:

1. **Interactividad con el usuario:** Permite una retroalimentación de la experiencia del usuario mediante aplicaciones interactivas como guías electrónicas de programación (EPGs).



CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2. **Mejor calidad de video:** Señales de video en alta definición HD.
3. **Mejor calidad de audio:** Permite tener una mejor calidad de audio 5.1.
4. **Optimización en el uso del espectro radioeléctrico:** Varias señales en el mismo ancho de banda.
5. **SFN (Redes de Frecuencia Única):** Al tener redes de transmisión de frecuencia única se permite tener una mejor cobertura con transmisores de menor potencia que en una transmisión analógica convencional.
6. **Señal digital:** Al manejar señales digitales se tiene mayor inmunidad al ruido.
7. **Comprensión:** Se puede realizar comprensión de audio y video.

2.1.4. Desventajas de la TDT

El principal problema de una transmisión de TDT es que si los niveles de potencia de la señal son bajos se producirá una distorsión y/o atenuación, que será claramente perceptible en el equipo receptor conectado a la antena receptora, en cambio en una transmisión analógica la decodificación con bajos niveles de potencia producirán imágenes borrosas dependiendo de la atenuación, pero el usuario final puede visualizar las imágenes, en cambio en una transmisión digital la visualización de imágenes será ilegibles además de que la calidad del audio será mínima.

Es en este punto en donde se evidencia la potencialidad de una correcta planificación basada en un modelo de propagación ajustado que contenga un mapa de cobertura teniendo en cuenta las características del medio.



2.2. Normativa de TDT orientada a la propagación

En cuanto a la normativa vigente en el Ecuador existe una institución encargada de velar por la calidad de transmisión, el correcto uso de las bandas de frecuencias, asignaciones de bandas, concesiones, autorizaciones o registro de servicios; la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL). Este organismo emite normativas y en esta sección se menciona dicha institución y al Ministerio de Telecomunicaciones (MINTEL) con sus funciones principales con enfoque a la TDT.

2.2.1. Organismos de regulación y control de las telecomunicaciones en el Ecuador

2.2.1.1. ARCOTEL

Actualmente en el Ecuador el organismo encargado de controlar y monitorear el uso del espectro radioeléctrico es la ARCOTEL. Esta agencia creada en el 2014 que absorbió al Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), SUPERTEL y SENATEL; cumpliendo las funciones de regulación y control de las telecomunicaciones en el país.

Las principales funciones de ARCOTEL son [17] :

1. Emitir las regulaciones, normas técnicas, planes técnicos y demás actos que sean necesarios en el ejercicio de sus competencias, para que la provisión de los servicios de telecomunicaciones cumplan con lo dispuesto en la constitución de la república y los objetivos y principios previstos en esta ley, de conformidad con las políticas que dicte el ministerio rector de las telecomunicaciones y de la sociedad de la información.
2. Elaborar, aprobar, modificar y actualizar el plan nacional de frecuencias.



CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

3. Elaborar las propuestas de valoración económica para la asignación y uso, aprovechamiento y/o explotación del espectro radioeléctrico, tarifas por uso de frecuencias y derechos por otorgamiento y renovación de títulos habilitantes.
4. Ejercer el control técnico de los medios de comunicación social que usen frecuencias del espectro radioeléctrico o que instalen y operen redes, tales como los de audio y video por suscripción.
5. Controlar y monitorear el uso del espectro radioeléctrico.
6. Implementar, organizar y administrar el registro público de telecomunicaciones.
7. Realizar estudios sobre el sector de telecomunicaciones y, mantener y publicar las estadísticas de dicho sector.

2.2.1.2. MINTEL

El ministerio de telecomunicaciones y sociedad de la información (MINTEL), creado mediante decreto ejecutivo el 13 de agosto de 2009, tiene como misión ser el órgano rector del desarrollo de las tecnologías de la información y comunicación en el Ecuador, que incluyen las telecomunicaciones y el espectro radioeléctrico, que emite políticas, planes generales y realiza el seguimiento y evaluación de su implementación, coordinando acciones con los actores de los sectores estratégicos para garantizar el acceso igualitario a los servicios y promover su uso efectivo, eficiente y eficaz, que asegure el avance hacia la sociedad de la información para el buen vivir de la población ecuatoriana.



CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.2.1.3. Comité Interinstitucional Técnico para la implementación de la TDT

El 3 de Agosto del 2011, se creó el comité interinstitucional técnico para la implementación de la TDT en el Ecuador (CITDT). El CITDT está formado por los siguientes miembros:

1. Ministro de Telecomunicaciones y de la sociedad de la Información.
2. Secretario Nacional de Planificaciones y desarrollo SENPLADES.
3. Representante del SENECYT.
4. Secretario nacional de telecomunicaciones.

Este comité está encargado de la coordinación técnica para la implementación de la TDT.

2.2.2. Regulación vigente en el Ecuador

2.2.2.1. Plan Nacional de Frecuencias (PNF)

En el Ecuador, las bandas de frecuencia utilizadas para radiodifusión están establecidas en el plan nacional de frecuencias, en donde se detallan los rangos de frecuencia para la transmisión de señales de televisión. Para el apagón analógico, previsto para el 2018, la ARCOTEL es la encargada de la actualización del PNF ya que el objetivo planteado por la agencia es liberar la banda de los 700 MHz para utilizarla en redes de cuarta generación.

El PNF se encuentra vigente desde el 2012, su función principal es la asignación de bandas de frecuencia para los servicios de radiocomunicación. El PNF conjuntamente con las disposiciones de la unión internacional de telecomunicaciones

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

(ITU, por sus siglas en inglés) establece que la televisión analógica abierta se transmitirá en las bandas VHF y UHF, como se muestra en la tabla 2.1.

BANDA VHF		
Banda	Rango de Frecuencia(MHz)	Canales
Banda I	54-72	2,3,4
	76-88	5,6
Banda III	174-216	7,8,9,10,11,12,13
BANDA UHF		
Banda IV	512-602	21,22,...36
	614-644	38,39,...42
Banda V	644-698	43,...,51

Tabla 2.1: Distribución de bandas de frecuencia para televisión analógica según el PNF y la ITU.

2.2.2.2. Norma técnica para el servicio de radiodifusión de TDT

Durante los últimos años, en el Ecuador, la normativa con respecto a la TDT ha tenido varias modificaciones; ARCOTEL es el encargado de velar que las normas con respecto al uso y manejo del espectro se cumplan. Existen varias resoluciones emitidas por ARCOTEL en donde se establecen las normas técnicas para la transmisión, además de los permisos emitidos para que las compañías televisoras puedan transmitir su señal de manera digital. En esta sección, nos centramos en el acuerdo ARCOTEL -2015-0301 que plantea la “Norma técnica para el servicio de radiodifusión de televisión digital terrestre”, publicada en el registro oficial el 3 de setiembre del 2015, que es la norma más actual y vigente sobre TDT en el Ecuador [18]. Exponemos las ideas principales enfocadas al desarrollo de esta tesis.

La norma establece las condiciones técnicas para la asignación de canales y operación de las estaciones del servicio de radiodifusión de TDT en el territorio ecuatoriano, de conformidad con el estándar ISDB-Tb internacional (ISDB-Tb) adoptado el 25 de marzo de 2010, con resolución 084-05-CONATEL-2010.

En la norma técnica se menciona que para el servicio de televisión digital terrestre

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

se establecen las siguientes bandas de frecuencias:

- Frecuencias principales: Destinadas para el servicio de TDT, véase la tabla 2.2.

UHF	Rango de Frecuencias(MHz)
	470- 482
Banda IV	512-602
	614-644
Banda V	644-698

Tabla 2.2: Bandas de frecuencias principales.

- Frecuencias auxiliares atribuidas en el PNF.

Las bandas de frecuencias principales se dividen en 32 canales físicos de 6 MHz de ancho de banda cada uno, la frecuencia de la portadora central del canal debe ser desplazada $1/7$ MHz (142,857 kHz) con relación a la frecuencia central.

En la figura 2.1, se puede observar como es la distribución de bandas para las frecuencias principales, cada canal tiene una asignación de espectro con una frecuencia central desplazada.

De la misma manera se canaliza para las siguientes frecuencias, por ejemplo, para el canal físico 15, la frecuencia inicial es de 146 MHz, la frecuencia final es de 482 MHz y la frecuencia central es de $479 + 1/7$ MHz; de una manera análoga como se muestra en la figura 2.1. Este procedimiento se sigue hasta la frecuencia de 698 MHz.

Con respecto a las características técnicas de la norma, se establece que las emisiones deben estar de acuerdo a las características que se describen en la tabla 2.3.

Otra de las características técnicas que se mencionan en la norma técnica, es que para el servicio de radiodifusión de televisión digital terrestre se establece el estándar ISDB-Tb, de acuerdo a las características definidas en la norma ABNT-NBR.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

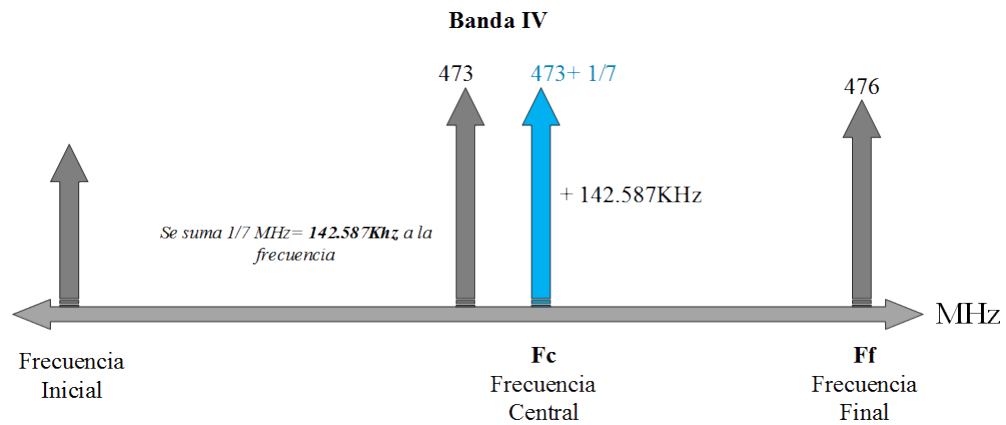


Figura 2.1: Canalización de Bandas de Frecuencias.

Separación en relación con la portadora central de la señal digital	Atenuación mínima en relación con la potencia media medida en la frecuencia central de las portadoras OFDM
> 15 MHz	60 dB para $P > 25W$, limitada a $1mW$ en VHF y $20mW$ en UHF.
< 15 MHz	Para $P \leq 25W$, limitada a $25\mu W$ en VHF y UHF.
Referencia : Norma ABNT-NBR 15601	

Tabla 2.3: Características técnicas para la relación con la portadora y la atenuación mínima para una transmisión de TDT.

Con respecto a la intensidad mínima de campo se establece que será de $51dB\mu V/m$, por lo menos el 90 % del tiempo y el 50 % de los sitios de recepción, para antenas en exteriores. Este último aspecto se puede ver reflejado con el siguiente ejemplo. Si un canal de televisión está transmitiendo un partido de fútbol para la ciudad de Cuenca, se garantiza que la mitad de la ciudad tendrá señal del partido en al menos el 90 % del tiempo que dure este.

Con respecto a la tasa error de modulación (MER), se establece que el valor medido en el transmisor debe tener una tasa de error de modulación igual o mayor a $32dB$.

2.3. Revisión del estándar de televisión digital ISDB-Tb y recomendaciones internacionales conexas

2.3.1. Estándar ISDB-Tb internacional

El estándar ISDB-Tb tiene su origen en Japón y su desarrollo comienza en la última parte de la década de 1990, mucho tiempo después de que hicieran su aparición el DVB-T europeo y el ATSC norteamericano, lo que supone una gran ventaja, pues ya se contaba con experiencias concretas y se conocían las fortalezas y debilidades de cada uno. Posiblemente, la principal decisión que se haya tomado durante la fase de estudios previos sea haber elegido un sistema multiportadora. Por fin, en 1999 ISDB-Tb se consagra como estándar japonés de televisión digital [19].

Fue Brasil, en el año 2008, quien como motor de impulso regional tomó la iniciativa de adoptar ISDB-Tb como estándar, pero con algunas modificaciones entre las que se destaca la posibilidad de emplear MPEG-4 para la compresión de datos, dando origen al estándar internacional cuya denominación es ISDB-Tb.

La mayoría de los países de América Latina no adoptarían ningún estándar hasta los comienzos del siglo XXI. En el caso del Ecuador, el 26 de marzo de 2010, se firman los convenios de cooperación técnica y de capacitación con los gobiernos de Japón y Brasil, dando el visto bueno a la introducción del sistema ISDB-Tb, permitiendo a la nación la transición de la señal analógica a la digital.

2.3.1.1. Organización del canal radioeléctrico

Como ocurre en la mayoría de los servicios de radiodifusión, no es posible utilizar todo el ancho de banda disponible para la transmisión; siendo necesario dejar ciertos márgenes en los límites del canal asignado [19]. Estos márgenes, que se conocen como *bandas de guarda*, en frecuencias de VHF y UHF suelen tener entre 20 kHz y 200 kHz de ancho y han sido pensados como medida de seguridad para evitar posibles interferencias sobre los canales adyacentes. La figura 2.2

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

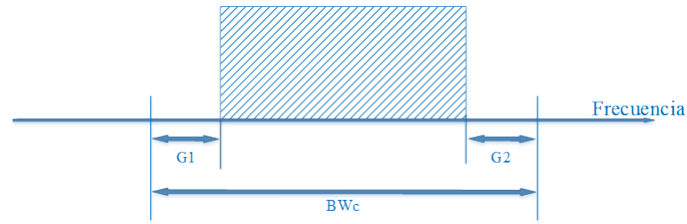


Figura 2.2: Bandas de guarda superior e inferior de un canal.

ilustra este concepto.

Con dos bandas de guarda de 200 kHz, son 400 kHz los que no podrán utilizarse del total de 6 MHz. Se podría pensar entonces, en organizar el canal en porciones (que la norma denomina “segmentos” y se representan como NS) de 400 kHz aproximadamente. Entonces:

$$N_s = \frac{B_{wc}}{400} = \frac{6000 \text{ KHz}}{400 \text{ KHz}} = 15$$

El estándar ISDB-Tb contempla la posibilidad de ofrecer un servicio de banda angosta que utiliza un solo segmento (y de allí la denominación “one-seg”). El segmento destinado a one-seg debe ocupar el centro de la banda, a fin de que el receptor pueda sintonizarlo fácilmente. Si este segmento ocupa la posición central y se deja igual cantidad de segmentos a derecha e izquierda de él, la banda debería dividirse en 14 segmentos en lugar de 15 y reservar uno de ellos para distribuir entre las bandas de guarda. Por lo tanto, la anchura de cada segmento será:

$$B_{ws} = \frac{B_{wc}}{400} = \frac{6000 \text{ KHz}}{400 \text{ KHz}} = 15$$

Al estándar ISDB-Tb también se le denomina de “banda segmentada” donde cada segmento tiene 428,57 kHz. Debido a la multiplicación OFDM, en conjunto se denomina OFDM –BST.

Con un segmento de guarda y un segmento central, se tienen 12 segmentos restantes que se numeran para este estándar de la manera en que se muestra en la figura 2.3.

Se puede calcular el ancho de banda total ocupado de los 13 segmentos:

$$B_w = N_s * B_{ws} = 13 * \frac{6000 \text{ KHz}}{14} = 5,571 \text{ MHz}$$

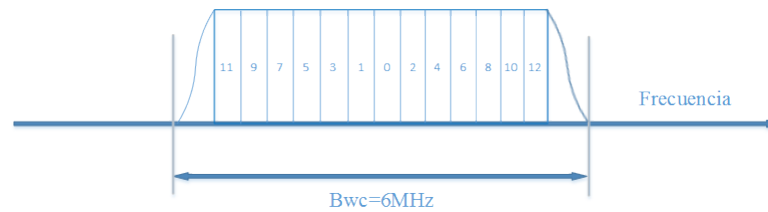


Figura 2.3: Organización del canal en segmentos.

2.4. Modelos de propagación a utilizar para TDT

El modelo de propagación debe estar directamente relacionado con el tipo de señal a transmitir ya que dependiendo de la modulación habrá diferentes tipos de pérdidas a considerar en dicho modelo. A diferencia del estándar europeo DVB-T y el norteamericano ATSC, en el Ecuador se adoptó el ISDB-Tb para el servicio de radiodifusión de televisión digital terrestre como se menciona en la norma técnica.

El estándar adoptado por el gobierno ecuatoriano tiene origen japonés con modificación brasileña, siendo el ente regulador de Brasil la Agencia Nacional de Telecomunicaciones (ANATEL) que controla y regula la televisión digital en ese país. La ANATEL de Brasil usa y recomienda la ITU-R P.1546-4 para la TDT debido a las siguientes razones:

- Gama de frecuencias de 30-3000 MHz.
- Trayectos terrestres marítimos y/o trayectos mixtos.
- Distancias de 1 a 1000 Km de longitud.
- Adaptación a diferentes situaciones y entornos utilizando extrapolaciones e interpolaciones.

Además de las ventajas mencionadas anteriormente, con la finalidad de cumplir la normativa dispuesta en la sección 2.2.2.2 para el Ecuador, la ANATEL establece un método complementario a la recomendación ITU-R P. 1546-4, para el 90 % del tiempo; avalado por Ministerio de Industria, Energía y Minas (MIEM) de Uruguay [20] [15]. Sin embargo, actualmente la recomendación ITU-R P.1546-4

está obsoleta y fue reemplazada por la recomendación ITU-R P.1546-5 sobre la cual está centrada el presente trabajo.

Otro modelo a tomar en cuenta es el Okumura-Hata, el cual tiene una facilidad en el cálculo para la predicción de cobertura, además de que se adapta para la zona geográfica de Cuenca, teniendo tres escenarios principales como son: urbano, suburbano y rural.

Existen otros modelos para predicciones de cobertura que fueron descartados ya sea por no cumplir el rango de frecuencias para la televisión digital o porque están enfocados a tipos de áreas geográficas específicas. Para el análisis de la propagación de una señal de TDT usamos 2 modelos: la recomendación ITU-R P.1546-5 y el modelo Okumura-Hata, debido a que pueden ser utilizados dentro de la gama de frecuencias de TDT para transmisiones de punto-área. El primero expone una metodología para el cálculo del campo eléctrico en un punto basado en información sobre el terreno y tablas tabuladas de mediciones realizadas en diversos entornos. El segundo modelo se basa en los datos de pérdidas por propagación de Okumura y es válido para el rango de frecuencias para TDT además de similitudes en las características como dimensiones de la antena y límites de distancia.

desde 1867

2.4.1. Modelo Okumura-Hata

El conjunto de fórmulas empíricas para atenuación de señales presentado por Masaharu Hata en 1980, también conocido como Okumura-Hata, ya que está basado en el precedente trabajo de Okumura, constituye uno de los modelos de propagación más utilizados para el estudio de sistemas celulares hasta ahora.

Es un modelo empírico basado en gráficas de pérdidas de propagación obtenidas a través de mediciones reales realizadas en Tokio Japón. Las pérdidas corresponden al modelo de Okumura. Hata desarrolló las gráficas de Okumura y generó un modelo matemático a través de varias ecuaciones que representan pérdidas de trayectoria para un tipo determinado de áreas, entre ellas urbana, suburbana y rural [21].

El modelo Okumura-Hata es válido para los valores descritos en la tabla 2.4. La ecuación que modela las pérdidas para un entorno urbano es la mostrada en la

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

Parámetro	Rango
Frecuencia	150 MHz a 1500 MHz
Altura de la Transmisora	30 m y 200 m
Altura de la antena Receptora	1m y 10 m
Distancia	Entre 1 km y 20 km

Tabla 2.4: Condiciones para aplicar el modelo de Okumura-Hata.

ecuación 2.1.

$$L(dB) = 69,55 + 26,16 \log f_s - 13,82 \log h_b - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \log h_b) \log d \quad (2.1)$$

donde:

f_s = Frecuencia de trabajo en MHz.

h_b = Altura de la antena transmisora en metros.

$a(h_m)$ = Factor de corrección debido a la altura efectiva en el receptor, la cual es función del tipo del área de servicio.

d = distancia entre el transmisor y el receptor, en metros.

El modelo de Okumura-Hata añade el factor de corrección $a(h_m)$, el cual depende del entorno de propagación.

Para ciudades medianas y pequeñas:

$$a(h_m) = (1,1 \log f_c - 0,7)h_m - (1,56 \log f_c - 0,8).$$

Para ciudades grandes:

$$\begin{aligned} a(h_m) &= 8,29(\log(1,54h_m))^2 - 1,10 \quad \text{si } 150 \leq f_c \leq 200. \\ &= 3,2(\log(11,75h_m))^2 - 4,97 \quad \text{si } 400 \leq f_c \leq 1500. \end{aligned}$$

Para otro tipo de entorno, las ecuaciones que modelan las pérdidas son las siguientes:

$$\begin{aligned} L(dB) &= L_{urban} - 2(\log \frac{f_c}{28})^2 \quad \text{para entornos Suburbanos} \\ &= L_{urban} - 4,78(\log f_c)^2 \quad \text{para entornos rurales.} \end{aligned}$$

2.4.2. ITU-R P.1546-5: Métodos de predicción de punto a zona para servicios terrestres en la gama de frecuencias de 30 a 3000 MHz

En esta recomendación se describe un método de predicción de propagación radioeléctrica punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 3 000 MHz. Esta recomendación se utiliza para trayectos terrestres, marítimos y mixtos. Sin embargo, dada la geografía de la ciudad sólo se tomarán las partes que se refieren a trayectos terrestres. Este método es aplicable para trayectos entre 1-1000 Km de distancia y para alturas de antenas transmisoras menores a 3 000 m. [1].

El método se basa en la interpolación/extrapolación de curvas de intensidad de campo deducidas empíricamente en función de: la distancia, la altura de la antena, la frecuencia y el porcentaje de tiempo [1]. Este último aspecto se refiere al porcentaje de tiempo donde la señal transmitida está disponible para ser procesada por el receptor. Dicho cálculo también incluye correcciones debidas a obstáculos cercanos al transmisor y al receptor.

Según la norma técnica para el servicio de radiodifusión de TDT, el rango de frecuencia para el servicio de TDT en el Ecuador es UHF, asignando la banda de 470 a 698 MHz, por lo que la recomendación se adaptan para rangos de frecuencias de TDT. Otra de las características importantes es que la Recomendación se establece para distancias entre 1 y 1000 Km; para el caso de Cuenca se realiza predicciones con distancias menores a 50 km, por lo tanto el modelo es válido.

2.5. Modelos de cobertura a revisar

En este punto se describe la metodología que se debe seguir para aplicar el modelo de Okumura-Hata y el modelo de la recomendación ITU-R P.1546-5, con el fin comparar los modelos y escoger aquel que permita definir el nivel de cobertura de una señal de TDT mejor ajustado a las mediciones de campo. Se han escogido los modelos mencionados, debido la gama de frecuencias que

manejan, y por la facilidad de variar parámetros que nos permitan obtener ajustes particulares a una zona geográfica determinada. Entre estos parámetros están las alturas de las antenas, los obstáculos adyacentes tanto al receptor como al transmisor y tipos de entornos donde se precisa la predicción. Cabe mencionar como aspecto relevante que ambos modelos son basados en datos empíricos por lo que son de gran ayuda para una predicción inicial de cobertura.

2.5.1. Metodología para la aplicación del modelo Okumura-Hata orientado a la TDT

La recomendación ITU-R P.529-3 describe métodos de predicción requeridos para el servicio móvil terrestre en las bandas de ondas métricas y decimétricas, en la recomendación se muestran curvas de intensidad de campo para tres gamas de frecuencias, centradas en torno a 150, 450 y 900 MHz [2].

La recomendación presenta fórmulas matemáticas basadas en el modelo de Okumura-Hata. Para obtener la intensidad de campo a una distancia de enlace determinada se aplica la siguiente ecuación:

$$E = 69,55 - 6,16 \log f - 13,82 \log h_1 - a(h_2) + (44,9 - 6,55 \log h_1)(\log R)^b \quad (2.2)$$

donde:

E = Intensidad de campo para 1 kW de potencia radiada aparente.

f = frecuencia (MHz).

h_1 = Altura efectiva de la antena de la estación de base en la gama de 30 a 200 m.

h_2 = Altura de la antena de la estación móvil en la gama de 1 a 10 m.

$a(h_2) = (1,1 \log f - 0,7)h_2 - (1,56 \log f - 0,8)$

R = distancia entre el transmisor y el receptor, en metros.

$b = 1$ para $R < 20Km$

$$b = 1 + (0,14 + 1,87 * 10^{-4} * f + 1,07 * 10^{-3} * h_1')(\log \frac{R}{20})^{0,8} \quad (2.3)$$

para distancias $20Km \leq R \leq 100Km$

donde:

$$h'_1 = \frac{h_1}{\sqrt{1 + 7 * 10h_1^{-6} * h_1^2}} \quad (2.4)$$

Los parámetros de la ecuación se muestran en la figura 2.4.

El valor de campo eléctrico en $dB(\mu V/m)$ permite obtener una estimación de la

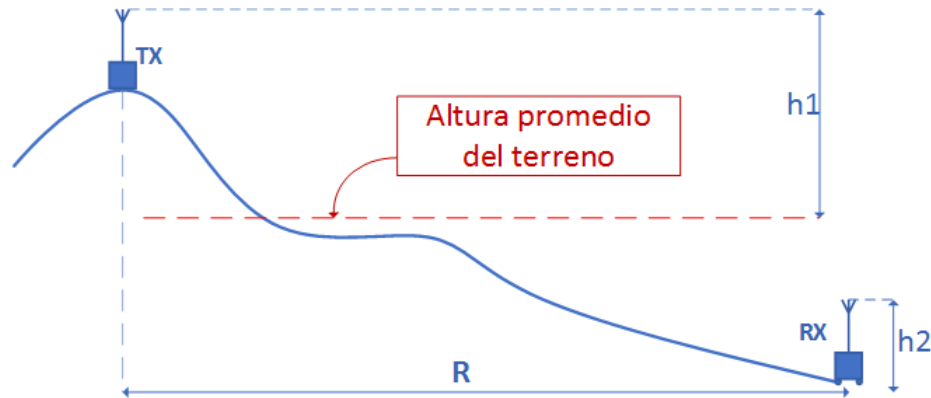


Figura 2.4: Gráfico demostrativo de los parámetros de la ecuación 2.2.

intensidad de campo, sin embargo, esta fórmula no considera obstáculos cercanos al receptor o correcciones con respecto a la altura de la antena receptora.

2.5.2. Metodología para el cálculo de potencia según la recomendación ITU-R P.1546-5 orientado a la TDT

A continuación se describe la metodología para el cálculo de potencia en un punto según la recomendación para el 50 % de los sitios de recepción y el 50 % del tiempo.

1. **Trayecto:** Determinamos el tipo de trayecto que necesitamos analizar, la recomendación describe un método para trayectos terrestres, marítimos y mixtos, para el caso de la ciudad de Cuenca el trayecto es terrestre únicamente, debido a esto, se restringe el análisis.
2. **Frecuencia y porcentaje de tiempo:** Se determina el porcentaje de tiempo, y los rangos de frecuencia a los que se desea trabajar.

3. **Determinación de terminales:** Dependiendo del sistema de coordenadas con las que se esté trabajando, el transmisor T_x y el receptor R_x tendrán una ubicación en base a coordenadas en nuestro caso usamos las coordenadas geográficas CGS en el sistema WGS84.
4. **Determinación de campo máximo:** La intensidad de campo no debe rebasar un valor máximo, E_{max} , dado por la ecuación :

$$E_{max} = E_{fs} \text{ dB}(\mu V/m) \text{ para trayectos terrestres}$$

donde E_{fs} es la intensidad de campo en el espacio libre para una potencia radiada aparente (p.r.a.) de 1 kW dada por la ecuación 2.5.

$$E_{fs} = 106,9 - 20 \log d \text{ dB}(\mu V/m) \quad (2.5)$$

5. **Determinación de la altura de la antena transmisora base (h_1):** La altura de la antena transmisora base h_1 , que se usa en el cálculo depende directamente del tipo y la longitud del trayecto y de los datos de las alturas en el trayecto desde T_x hasta R_x . Para el caso de la ciudad de Cuenca como se mencionó antes el trayecto es de tipo terrestre, la altura efectiva de la antena transmisora base, h_{eff} , se define como su altura m por encima del nivel medio del terreno para las distancias comprendidas entre 3 y 15 Km desde dicha antena en la dirección de la antena receptora móvil. Cuando el valor de la altura efectiva de la antena transmisora base, h_{eff} , no sea conocido, deberá estimarse utilizando información geográfica de carácter general. Cuando se dispone de información sobre el terreno para efectuar las predicciones de propagación:

$$h_1 = h_b \text{ (m)}.$$

6. **Cálculo de la intensidad de campo (E):** Si el valor de h_1 coincide con una de las ocho alturas para las que se dan curvas, a saber, 10, 20, 37.5, 75, 150, 300, 600 ó 1 200 m, la intensidad de campo requerida puede obtenerse directamente de la curvas asociada con la figura 2.5 . La figura 2.5 está asociada a valores proporcionados por la ITU para el 50 % del tiempo y el

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

50 % de los sitios de recepción.

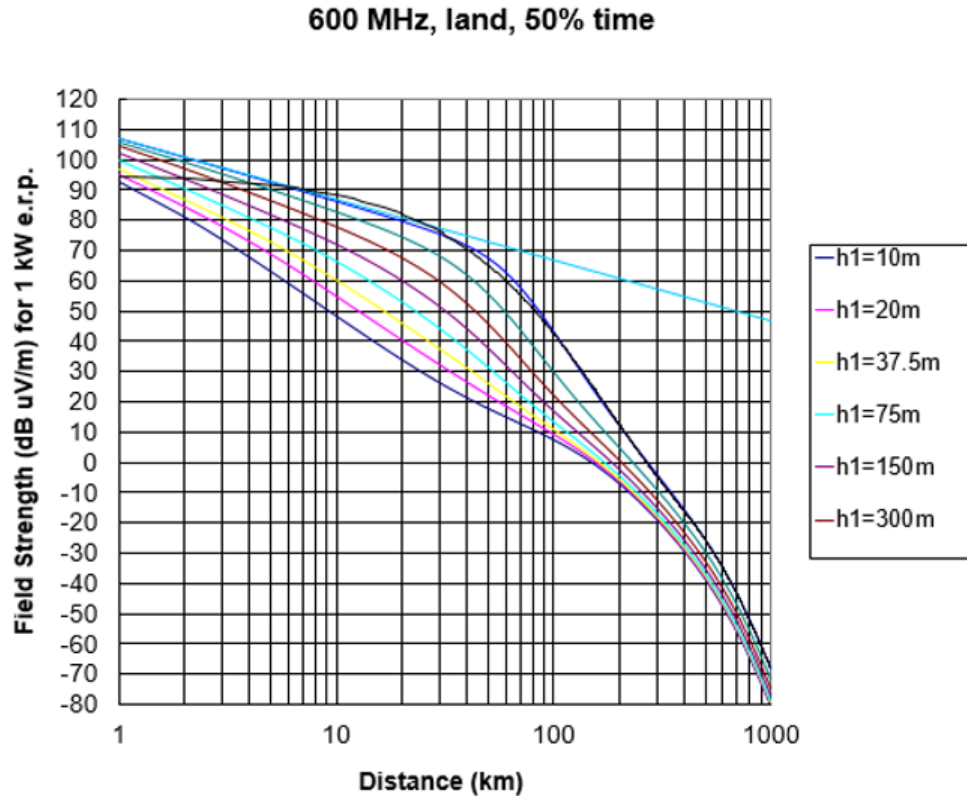


Figura 2.5: Intensidad de Campo en $dB(\mu V/m)$ en función de la distancia. [1]

En los demás casos, la intensidad de campo requerida deberá interpolarse o extrapolarse a partir de las intensidades de campo obtenidas de las curvas utilizando la ecuación 2.6 .

$$E = E_{\text{inf}} + (E_{\text{sup}} - E_{\text{inf}}) \left(\log \frac{h_1}{h_{\text{inf}}} / \log \frac{h_{\text{sup}}}{h_{\text{inf}}} \right) \quad dB(\mu V/m) \quad (2.6)$$

donde:

$h_{\text{inf}} = 600\text{ m}$ si $h_1 > 1200\text{ m}$, de no ser así, la altura efectiva nominal más cercana por debajo de h_1 .

$h_{\text{sup}} = 1200\text{ m}$ si $h_1 > 1200\text{ m}$, de no ser así, la altura efectiva nominal más cercana por encima de h_1 .

E_{inf} = valor de la intensidad de campo para h_{inf} a la distancia requerida.

E_{sup} = valor de la intensidad de campo para h_{sup} a la distancia requerida.

El valor obtenido del campo E corresponde a la intensidad de campo en $dB(\mu V/m)$ a una distancia d , sin embargo en este valor no se considera la altura de la antena receptora, debido a esto la recomendación sugiere el cálculo de una corrección que permita considerar la altura de la antena receptora.

7. **Corrección para altura de antena receptora móvil:** La altura de la ocupación del terreno que rodea a la antena receptora móvil con una altura igual al mayor valor entre R_2 y 10 m y dependerá si la zona es urbana, suburbana y rural. Ejemplos de alturas de referencia son 20 m para una zona urbana, 30 m para una zona urbana densamente poblada y 10 m para una zona suburbana (ver figura 2.6). Para los trayectos marítimos, el valor teórico de R_2 es 10 m [1].

En este punto es necesario utilizar una altura representativa auxiliar, R_2' , en base al ángulo de elevación del rayo incidente en el receptor. Dicha altura está dada por la ecuación 2.7 [1].

$$R_2' = (1000d * R_2 - 15 * h_1) / (1000 * d - 15) \quad m \quad (2.7)$$

Donde h_1 y R_2 están en metros y la distancia d en kilómetros. R_2' se calcula considerando un obstáculo a 15 metros tras la incidencia rasante del rayo sobre el obstáculo desde el transmisor. La altura R_2' representa una altura de referencia a la cual un receptor encontraría una incidencia rasante ($v=0$). Si es necesario, habrá que limitar el valor de R_2' de manera que no sea inferior a 1 m [1].

Cuando la antena receptora móvil está en un entorno urbano, la corrección viene dada por:

$$\begin{aligned} \text{Correccion} &= 6,03 - J(v) \quad dB \quad \text{para} \quad h_2 < R_2' \\ &= K_{h2} \log \frac{h_2^2}{R_2'} \quad dB \quad \text{para} \quad h_2 \geq R_2' \end{aligned} \quad (2.8)$$

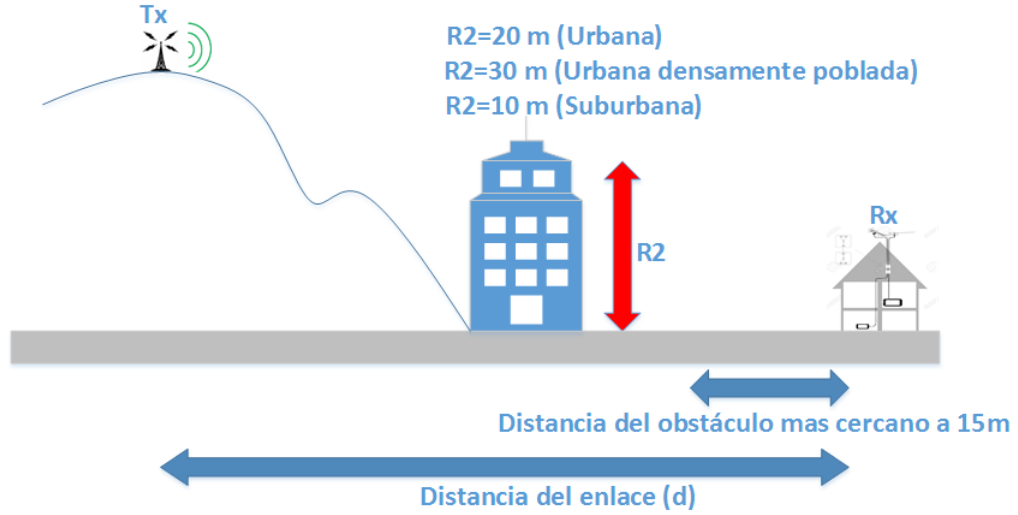


Figura 2.6: Alturas representativas de obstáculos a tomar en cuenta en la predicción.

Donde $J(v)$ se calcula con la ecuación 2.9.

$$J(v) = \begin{cases} 6,9 + 20 \log \left(\sqrt{(v - 0,1)^2 + 1} + v - 0,1 \right) & \text{para } v > -0,7806. \\ J(v) = 0 & \text{Para cualquier otro caso.} \end{cases} \quad (2.9)$$

Donde:

$$\begin{aligned} v &= K_{nu} \sqrt{h_{diff} \theta_{clut}} \\ h_{diff} &= R' - h_2 & m \\ \theta_{clut} &= \arctan \frac{h}{2r} & \text{grados} \\ K_{h2} &= 3,2 \log f \\ K_{nu} &= 0,0108 \sqrt{f} \\ f &= \text{frecuencia (MHz)} \end{aligned}$$

Este valor de corrección se resta del campo obtenido en el punto anterior.

8. **Corrección debida a la diferencia de altura de antena:** Otra de las correcciones que se deben realizar es la que considera la diferencia de altura

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

entre dos antenas. Esta corrección se determina como sigue:

$$\text{Corrección} = 20 \log \frac{d}{d_{slope}} \text{ dB} \quad (2.10)$$

Donde d es la distancia horizontal y la pendiente, d_{slope} , se calcula de la siguiente forma:

$$d_{slope} = \sqrt{d^2 + 10^{-6} [(h_a - h_{tter}) - (h_2 + h_{rter})]} \quad (2.11)$$

h_{tter} y h_{rter} son las alturas del terreno en metros sobre el nivel del mar en los terminales del transmisor/estación base y receptor/móvil, respectivamente.

9. Cálculo del campo para distancias menores a 1 Km

Para trayectos inferiores a 1 km el modelo se amplía a distancias horizontales arbitrariamente cortas, como sigue:

$$\begin{aligned} E &= 106,9 - 20 \log d_{slope} \text{ dB}(\mu V/m) \quad \text{para } d < 0,04 \text{ Km.} \\ E &= E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \left(\frac{\log \frac{d_{slope}}{d_{inf}}}{\log \frac{d_{sup}}{d_{inf}}} \right) \text{ dB}(\mu V/m) \quad \text{Caso contrario.} \end{aligned} \quad (2.12)$$

Donde:

d_{slope} = distancia en pendiente dada por la ecuación 2.10 para la distancia horizontal requerida d

d_{inf} = distancia en pendiente dada por la ecuación 2.10 para $d = 0,04$ km

d_{sup} = distancia en pendiente dada por la ecuación 2.10 para $d = 1$ km.

$E_{inf} = 106,9 - 20 \log(d_{inf})$

$a(E_{sup})$ = intensidad de campo dada por los § 1 a 14 para $d = 1$ km.

Esta extensión, a una distancia horizontal arbitrariamente corta, se basa en una hipótesis. La cual establece que, cuando un trayecto disminuye su longitud por debajo de 1 km, hay una mayor probabilidad de que exista un trayecto de menos pérdidas que pase en torno a los obstáculos en vez de sobre ellos.



2.6. Modelos digitales de terreno

En esta sección se describen los fundamentos para utilizar modelos digitales de terreno. Es bien conocido que con el desarrollo de la tecnología, la cartografía y topografía se han visto afectadas favorablemente. Hoy es común utilizar software para la georreferenciación y otras herramientas que permiten manipular modelos digitales de elevación.

2.6.1. Definición de un modelo digital de terreno (MDT)

Los modelos digitales del terreno (MDT) se han definido como un conjunto de datos numéricos que describe la distribución espacial de una característica del territorio [2]. La diferencia básica entre los modelos digitales y los modelos analógicos reside en que los primeros están codificados en cifras, lo que permite su tratamiento por medios informáticos. Para obtener un MDT se pueden basar en la realidad que se desea representar, sin embargo, lo normal es que exista un modelo analógico intermedio para codificar los datos y obtener el modelo, estos modelos analógicos pueden ser cartas topográficas, mapas, etc. Debido a esto a los MDT se les conoce también como mapas virtuales.

Mediante los MDT se pueden representar ciertas variables características del terreno como por ejemplo las características hidrográficas entre otras cosas. En [2] se redefine los MDT como estructuras numéricas de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua.

Dentro de un MDT, la hipsometría está desempeñada por un Modelo Digital de Elevación (MDE), que describe la altimetría de una zona mediante un conjunto de datos acotados. Los modelos derivados más sencillos pueden construirse exclusivamente con la información del MDE y reflejan características morfológicas simples (pendiente, orientación, etc.).

2.6.2. Modelo digital de elevación (MDE)

Un MDE se define como una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno. Un MDE puede describirse de forma genérica del modo siguiente [2]:

$$Z = \zeta(x, y)$$

Donde z es la altitud del punto situado en las coordenadas (x, y) , y ζ la función que relaciona la variable con su localización geográfica. Los valores de x e y suelen corresponder con las abscisas y ordenadas de un sistema de coordenadas plano, habitualmente un sistema de proyección cartográfica.

Dado que un MDE representa una superficie o campo escalar en la que la altitud es una variable continua, que la superficie real del terreno tiene un número infinito de puntos, no es posible la modelización de las elevaciones sin cierta pérdida de información, es decir, que un MDE será fiable dependiendo de la resolución que tenga.

En la figura 2.7 se observan los procesos básicos implicados en la creación, manejo y explotación de los modelos digitales de elevaciones.

Partiendo de la superficie real del terreno, la construcción del mapa topográfico incluye básicamente un proceso de simbolización mediante el cual las propiedades del terreno se representan sobre un plano usando relaciones de analogía previamente establecidas. La codificación numérica del modelo analógico conduce al modelo digital, susceptible de tratamientos matemáticos y estadísticos imposibles de aplicar al anterior. Ello permite construir modelos digitales derivados y realizar procesos de modelización mediante simulaciones numéricas.

2.6.2.1. Estructura de datos de un MDE

La unidad básica de información es un valor de altitud z , que corresponde al valor de la altura en un punto (x, y) expresados en un sistema de proyección geográfica. En los MDE se describe la altitud como un conjunto finito de cotas. El valor propio de un punto de localización arbitraria se obtendrá interpolando

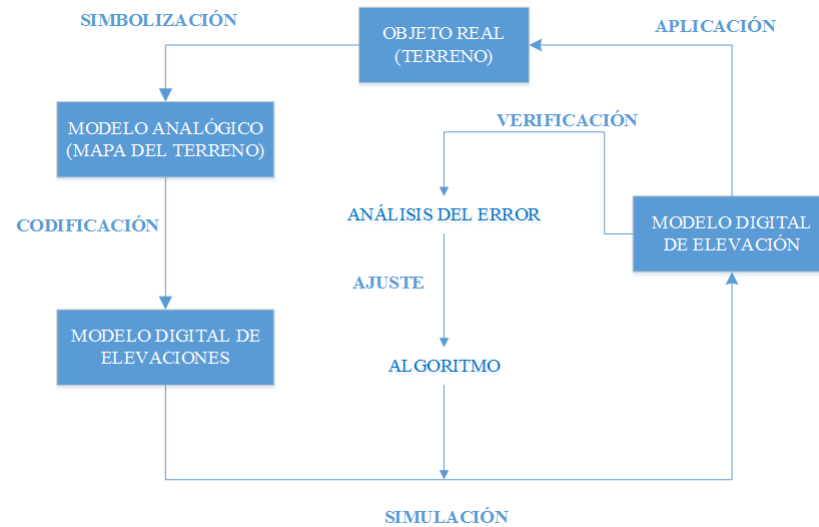


Figura 2.7: Procesos básicos implicados en la creación, manejo y explotación de los MDEs [2].

los datos de su entorno.

Los MDEs se dividen en 2 tipos: vectorial y ráster. Los primeros basados en entidades, básicamente puntos y líneas definidos por sus coordenadas. En cambio en los ráster, los datos se interpretan como el valor medio de unidades elementales de superficie que forman el terreno como un mosaico con una distribución regular, sin solapamiento y con recubrimiento total del área representada.

2.6.3. Estructuras vectoriales

Es una estructura de datos para almacenar datos geográficos. Los datos vectoriales están formados por líneas o arcos, definidos por sus puntos de inicio y fin, además de puntos donde se cruzan varios arcos, los nodos. La localización de los nodos y la estructura topológica se almacena de forma explícita. Las entidades quedan definidas por sus límites, los segmentos curvos se representan como una serie de arcos conectados. El almacenamiento de los vectores implica el almacenamiento explícito de la topología, sin embargo, solo almacena aquellos puntos que definen las entidades y todo el espacio fuera de éstas no está considerado [9].

El modelo vectorial permite almacenar información geográfica de un terreno que representa la topográfica y altimétrica de un determinado lugar. Los datos geográficos se representan en forma de par de coordenadas (x,y) . Las unidades de información geográfica en los datos vectoriales son puntos, líneas (arcos) y polígonos. Cada una de estas unidades está compuesta de uno o más pares de coordenadas, por ejemplo una línea es un conjunto de puntos interconectados.

2.6.4. Ráster

El ráster es un modelo de datos en el cual las zonas geográficas son representadas por celdas. Generalmente las celdas son cuadrados con cierta resolución dependiendo del formato de archivos que se dispongan, también hay otros sistemas que utilizan diferentes figuras geométricas como triángulos o hexágonos. Sean cuadrados u otras figuras lo que se obtiene al unir las celdas es una grilla regular. Un ráster puede tener una o más bandas de información como se observa en la figura 2.8.

Las bandas de información del ráster pueden ser fotografías aéreas con tres

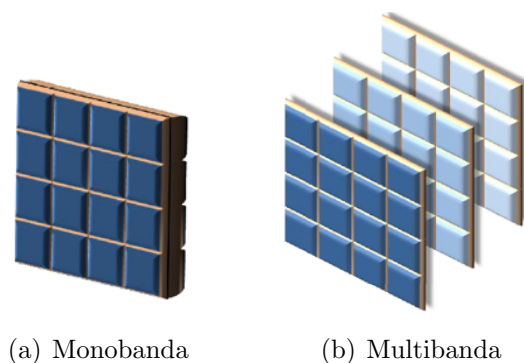


Figura 2.8: Tipos de Ráster. [3]

bandas una por cada color visible RGB; imágenes de satélite que contenga información geográfica multiespectral o hiperespectral, datos de urbanidad en zonas geográficas, etc.

A un ráster se le puede considerar como una matriz bidireccional que inicia en la esquina superior izquierda a diferencia del sistema de coordenadas cartesiano que

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

inicia en la esquina inferior izquierda. Este hecho se puede observar en la figura 2.9 en donde se observa la diferencia entre los 2 sistemas.

La unidad mínima del ráster es una celda o grilla que contiene el valor de X

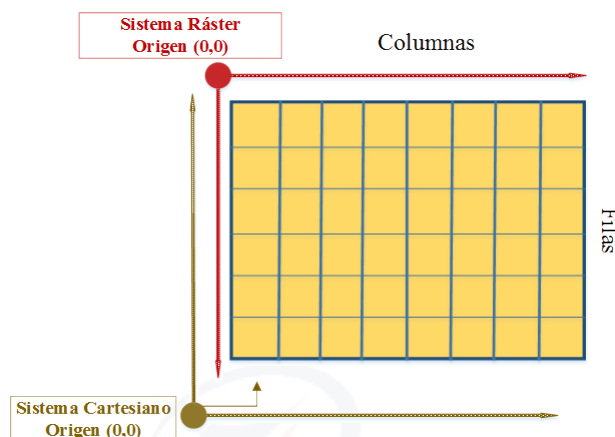


Figura 2.9: Diferencia entre el sistema de coordenadas ráster y cartesiano. [3]

por ejemplo la latitud, Y la longitud y Z la variable que representa el ráster, por ejemplo la altura en una coordenada determinada. El modelo ráster se centra más en las propiedades y variaciones de las variables en el espacio que conforman la grilla o conjunto de celdas que en la representación discreta de los elementos que la conforman [3].

2.6.4.1. Tamaño y resolución del pixel

Pixel es la abreviatura de las palabras “picture element”. Es usada frecuentemente en teledetección para referirse a cada unidad de una imagen [22]. En los SIG ráster se hace referencia a pixel o celda como la celda o elemento base de una rejilla, por ejemplo un mapa con información de altimetría de una ciudad. El tamaño del pixel debe ser la mitad de la longitud más pequeña que sea necesario representar. A mayor tamaño de la celda, menor será el número de filas y columnas de la malla que cubre la superficie es decir una menor resolución [22]. La desventaja del modelo ráster es la falta de exactitud a la hora de representar un elemento debido a la resolución, por ejemplo si estamos representando la altura de un determinado lugar por ejemplo una ciudad la resolución de la celda será

crucial para el análisis que se esté realizando. Esta desventaja se puede solucionar aumentando la resolución, pero esto dependerá de tipo y formato de archivos del que se dispongan.

2.6.5. Estructura del ráster

La estructura de un ráster hace referencia a como los valores para cada píxel están almacenados. De acuerdo a [3] existen tres tipos subdivididos en dos: estructuras de ráster simples y estructuras de datos jerárquicas que se detallan a continuación.

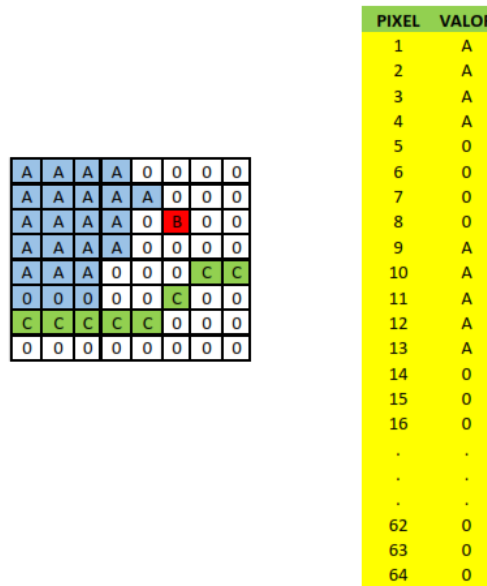
2.6.5.1. Estructura de ráster simple

1. **Enumeración exhaustiva:** Hace referencia a un almacenamiento uno por uno para el valor de cada celda, de acuerdo a una secuencia por ejemplo de derecha a izquierda de arriba hacia abajo a partir de la celda superior izquierda. En la figura 2.10 (a) se muestra la representación exhaustiva.
2. **Codificación por grupos de longitud variable (Run Length Encoding):** La codificación no se realiza valor a valor, sino por grupos de valores con igual valor que están distribuidos de manera contigua. En la figura 2.10 (b) se observa esta codificación.

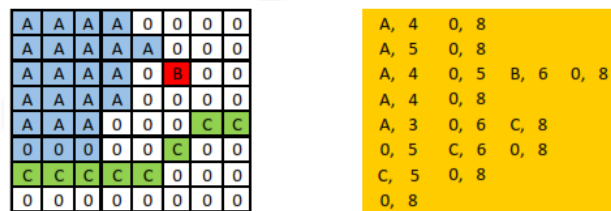
2.6.5.2. Estructura de ráster jerárquicos

- **Árboles Cuaternarios:** Una derivación de las estructuras convencionales para ordenar y codificar datos ráster es la de árboles cuaternarios (quadrees) [3].

Se trata de manipular un mismo ráster con diferentes tamaños de celdas. Es decir, se trabaja con una resolución variable. La estructura es el resultado de dividir el espacio en estructuras jerárquicas de cuatro cuadrantes. El espacio



(a) Enumeración Exhaustiva



(b) Run Length Encoding

Figura 2.10: Estructura de Ráster Simple. [3]

inicial es una matriz cuadrada de dos celdas, la cuales pueden dividirse cada una en cuatro, si el pixel varía en su dominio espacial, lo que optimiza el espacio cuando la variable es homogénea. Debido a esto, se dificulta el análisis, combinación y modificación del ráster. En la figura 2.11 se puede observar cómo se conforman los árboles cuaternarios.

2.6.6. Comparación entre los modelos vectorial y ráster

A continuación se describen las ventajas y desventajas del modelo vectorial y ráster de acuerdo a [9]. De acuerdo a la tabla 2.5 se establece que los MDE de tipo

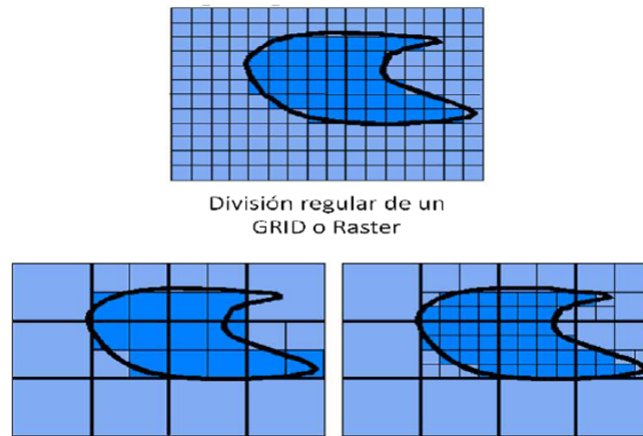


Figura 2.11: Codificación ráster mediante árboles cuaternarios

Aspecto	Ráster	Vectorial
Precisión gráfica	D	V
Cartografía tradicional	D	V
Volumen de datos	D	V
Topología	D	V
Operaciones de cálculo	V	D
Actualización	V	D
Variación espacial continua	V	D
Integración	V	D
Variación espacial discontinua	D	V

Tabla 2.5: Ventajas (V) y Desventajas (D) de los MDT ráster y vectorial. [9]

ráster permiten una ventaja con respecto a las operaciones de cálculo a diferencia de los vectoriales. Este aspecto resulta sumamente importante a la hora de la manipulación de datos ya que permitirá un aprovechamiento y optimización en el manejo numérico de un MDE. Debido a esta característica, en el presente trabajo se le da prioridad a los MDE de tipo ráster.

2.6.7. Origen de los datos de un modelo ráster

Los sistemas de información geográfica, SIG, pueden tener diversos tipos de fuentes dependiendo de la aplicación y utilización que se le pretenda dar al mo-



CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

delo ráster. De acuerdo a [23], se menciona que un SIG ráster se realiza a partir de:

- Imágenes de satélite
- Digitalización manual (puntos , líneas , polígonos)
- Digitalización semi-automática
- Barredor óptico o escáner
- Rasterización de datos vectoriales.

En el presente trabajo se pretende manipular MDEs de carácter real con una resolución que permita obtener características óptimas de un determinado modelo de propagación para TDT. El origen de los datos usados son imágenes de satélite.

2.6.8. Rasterización de datos vectoriales

Se denomina rasterización de datos vectoriales al procedimiento a través del cual a partir de una representación vectorial (puntos, líneas y polígonos) se obtiene un modelo ráster, formado por celdas formando una grilla regular. Este procedimiento resulta más sencillo que la conversión de ráster a vectorial, esta es otra de las razones por las que para el presente trabajo se da prioridad a los MDT de tipo ráster.

2.6.9. Vectorización de datos ráster

Se denomina a vectorización del ráster al procedimiento por el cual, a partir de una imagen o archivo formado por celdas o una grilla regular, se obtiene un



CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

archivo vectorial que puede incluir o no la creación topológica.

2.6.10. Formatos de un MDE ráster

Existen muchos formatos de archivos para MDE de tipo ráster, de acuerdo con [24] para trabajar en un proyecto con información geográfica son:

- **Esri Grid:** Nativo de ESRI. Hay 2 tipos de grids: enteros y puntos flotantes. Por ejemplo los datos de elevación son de punto flotante. Un ESRI grid a su vez tiene dos formatos:
 - Un formato propietario binario, también conocido como **ARC/INFO GRID**, **ARC GRID** y otras variaciones. Con extensión *.adf.
 - Un formato ASCII no propietario, también conocido como **ARC/INFO ASCII GRID**.

El formato ASCII es usado como un formato de intercambio y exportación, debido a lo sencillo y fácil de compartir que es la estructura del archivo ASCII [24].

- **GeoTIFF:** Es uno de los más utilizados y se ha convertido es uno estándar para los SIG. En origen fue diseñado por la NASA. Su extensión es “.tiff”.
- **JPEG 2000:** Es un estándar de compresión y codificación digital de imágenes. Puede trabajar con niveles de compresión mayores que los JPEG evitando aspectos borrosos. Su extensión es “.jp2”.
- **MrSID:** *Multi-resolution Seamless Image Database*, desarrollado por la empresa LizardTech. Es un formato ráster ampliamente utilizado al permitir el manejo de imágenes masivas extremadamente grandes. Su extensión es “.sid”.



CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

- **ECW:** *Enhanced Compression Wavelet*, presenta ratios muy altos de compresión, hasta de 50:1, a través del uso de técnicas de ondículas. Es ampliamente utilizado en SIG y teledetección. Su extensión es “.ecw”.
- **ASCII:** Usa un conjunto de números entre 0 y 155 para el almacenamiento y procesamiento de la información. Es de manejo relativamente sencillo y permite manipular eficientemente la información. Su extensión es de tipo “.asc”.
- **ERDAS IMAGE (IMG):** formato propietario parcialmente documentado para multicapa de imágenes ráster georreferenciados desarrollados originalmente para su uso con ERDAS IMAGE software. Es ampliamente usado para teledetección. Su extensión es de tipo “.img”.

Resulta ineficiente para el análisis usar archivos con formato ERDAS IMAGE y ECW debido a que son formatos propietarios, lo cual conlleva un acceso complicado a los datos para ser procesados.

Debido a que el MDE que se va a usar es de una ciudad de no más de 50 Km que no representa una imagen extremadamente grande y que la compresión de datos si bien es importante pero no requiere prioridad considerable los archivos de tipo MrSID y JPEG 2000 se pueden dejar en un segundo plano.

Sin embargo, los archivos de tipo ASCII son a los que en el presente proyecto se les va a considerar. Los MDE que se va a usar deben tener las características de intercambio y exportación de información de datos que no representen una mayor complejidad, además a los cuales se les pueda modificar y sobrescribir de manera sencilla. Los archivos en formato ASCII responde a estas características, debido a esto se le va a dar prioridad.

2.7. Información georreferenciada

La georreferenciación hace referencia al posicionamiento que define la localización de un objeto espacial en un sistema de coordenadas y datos determinados. Un sistema de coordenadas permite ubicar de forma precisa cualquier punto sobre

la tierra normalmente se usa un sistema de coordenadas geográficas o proyectadas. Un sistema de coordenadas geográficas determinan la posición de un punto mediante latitud y longitud (sistema polar), en cambio el sistema de coordenadas proyectadas mediante un par de coordenadas x,y (sistema cartesiano).

El sistema de coordenadas geográfico más utilizado es el WGS84, mientras que el sistema de coordenadas proyectadas más utilizado es el Universal Trasversal de Mercator (UTM). Ambos sistemas tienen en común que se basan en el modelado elipsoidal de la Tierra, pero difieren en los parámetros que determinan dicha figura geométrica, es el caso de los semiejes mayor y menor, y coeficiente de achatamiento como se menciona en [15]. El sistema de coordenadas que se utiliza en el presente proyecto es el WGS84.

2.8. Sistema radiante de TDT

El sistema radiante constituye el sistema o arreglo de antenas utilizadas para la transmisión de señales de TDT. De acuerdo a la “NORMA TÉCNICA PARA EL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE” vigente en el Ecuador, las características que identifican al sistema son la polarización, patrón de radiación, azimut y ángulo de inclinación [18].

2.8.1. Polarización

Se define como la orientación del campo eléctrico de una onda electromagnética. En términos geométricos, generalmente la polarización se describe por una elipse. Hay dos casos especiales de la polarización elíptica: la polarización lineal y la polarización circular [5].

En la polarización lineal, el vector de campo eléctrico se mantiene en el mismo plano del eje de la antena. El campo eléctrico puede posicionar a la antena en una orientación vertical, horizontal o en algún ángulo intermedio entre los dos.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

La radiación en una antena **polarizada verticalmente** se ve ligeramente menos afectada por las reflexiones debidas al trayecto. Las antenas omnidireccionales siempre tienen una polarización vertical. Con la antena en polarización horizontal, tales reflexiones causan variaciones en la intensidad de la señal recibida. Las antenas horizontales tienen menos probabilidad de captar interferencias generadas por el hombre que las normalmente polarizadas verticalmente.

En la **polarización circular** el vector del campo eléctrico aparece rotando con un movimiento circular en la dirección de la propagación, haciendo una vuelta completa para cada ciclo de RF. Esta rotación puede ser hacia la derecha o hacia la izquierda. La elección de la polarización es una de las elecciones de diseño disponibles para el sistema irradiante de RF [5].

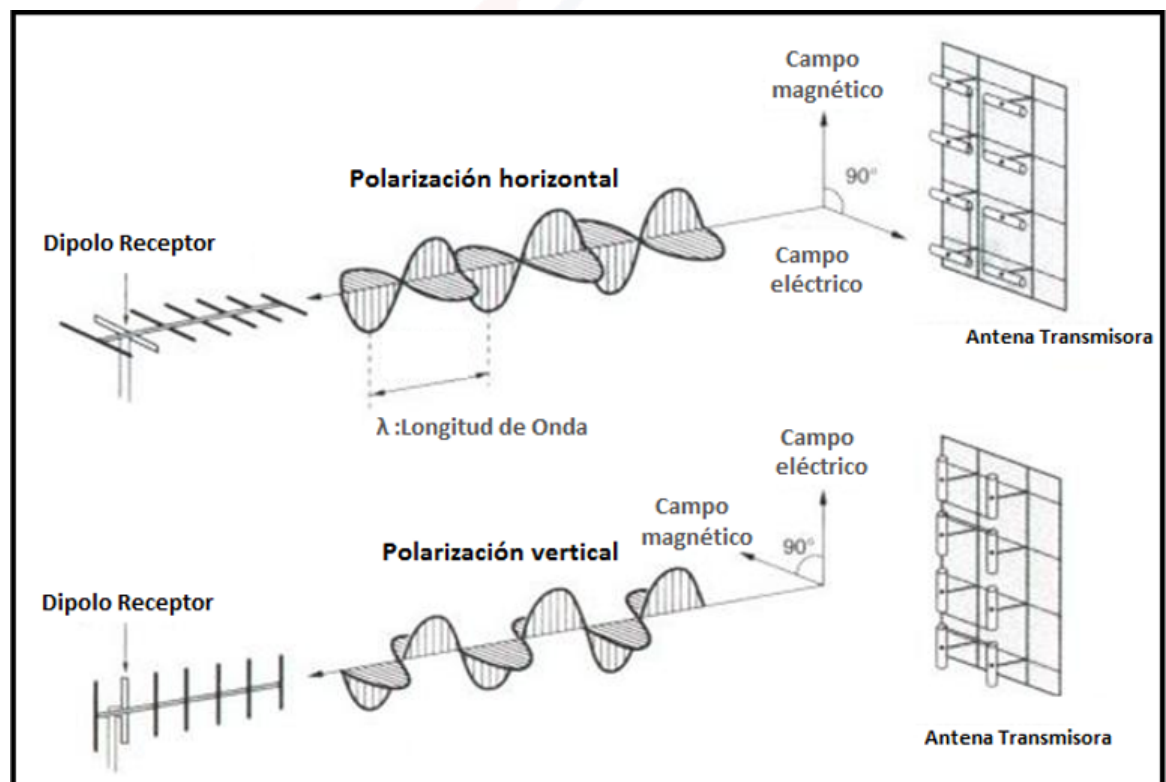


Figura 2.12: Orientación de campo eléctrico y magnéticos en polarizaciones horizontal y vertical. [4]

Generalmente en sistemas de televisión analógica y digital se utilizan sistemas con polarización horizontal. Se utiliza este tipo de polarización porque es más fácil incrementar la ganancia que la polarización vertical por el método "Staking" (Apilar). Otra razón importante es que en televisión satelital se utiliza polarización vertical, esto evita interferencias entre señales que tienen un mismo rango de frecuencia. En sistemas de este tipo evidentemente las orientaciones de las antenas receptora y transmisora son horizontales, ver figura 2.12.

2.8.2. Patrón de radiación

Es la representación gráfica de la forma en que la energía electromagnética se distribuye en el espacio. Se puede representar esta medición en forma cartesiana o polar. La representación polar se hace mediante el trazado de segmentos proporcionales a una magnitud de referencia (módulo) y un ángulo que nos da la dirección respecto a una semirrecta de referencia (argumento). Los resultados obtenidos son generalmente normalizados. El valor máximo de la señal recibida para $0dB$ de referencia, facilita la interpretación de los lóbulos secundarios en relación al frente de los bordes [5], ver figura 2.13.

En la figura 2.13 se presenta un diagrama de radiación polar de la energía radiada

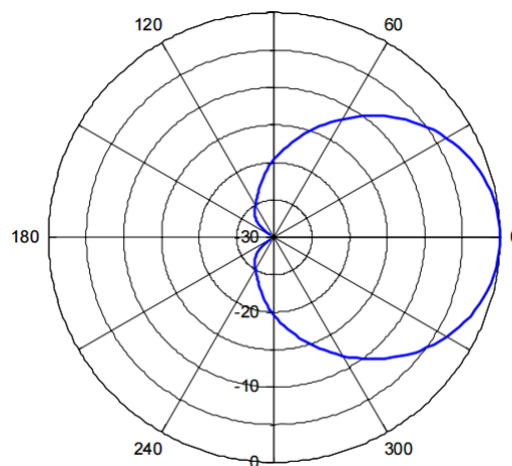


Figura 2.13: Diagrama de radiación en el plano horizontal de una antena con polarización horizontal [5].

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

alrededor de una antena para un valor máximo y mínimo y el ancho de haz de 60° para la mitad de potencia $-3dB$. El lóbulo principal define los ángulos de media potencia y de máxima ganancia. El análisis correcto de una antena necesita de dos planos, plano E (campo eléctrico) y plano H (campo magnético).

El ancho del haz de una antena se entiende como el ángulo donde la antena radia la mitad de potencia. Se encuentra en el pico de intensidad de radiación, luego se localizan los puntos de ambos lados del pico que representan la mitad de la potencia de intensidad del pico. La distancia angular entre los puntos de mitad de potencia se define como el ancho del haz. La mitad de la potencia, expresada en decibeles, es de $-3dB$, por lo tanto, algunas veces el ancho del haz a mitad de potencia es referido como el ancho del haz a $-3dB$. Generalmente se consideran tanto el ancho de haz vertical como horizontal, por ejemplo, el ancho de haz de media potencia del diagrama de la figura 2.14 es de 50 grados.

Lóbulos laterales: Son picos más pequeños denominados lóbulos laterales, especificados comúnmente en dB por debajo del lóbulo principal.

Nulos en los diagramas de radiación de una antena: Una zona nula es aquella en la cual la potencia efectivamente radiada está en un mínimo, ver figura 2.14.

Un nulo a menudo tiene un ángulo de directividad estrecho en comparación al haz principal. Los nulos son útiles para varios propósitos tales como la supresión de señales interferentes en una dirección dada. Para el caso en el que se tenga que estimar o incluir la ganancia del patrón de radiación en una dirección (θ, ϕ) para una predicción de intensidad de campo se puede utilizar la ecuación 2.13.

$$G(\theta, \phi) = G_H(\phi) [dBi] + G_V(\theta) [dBi] \quad (2.13)$$

donde G_H es el patrón de radiación horizontal y G_V el vertical [25].

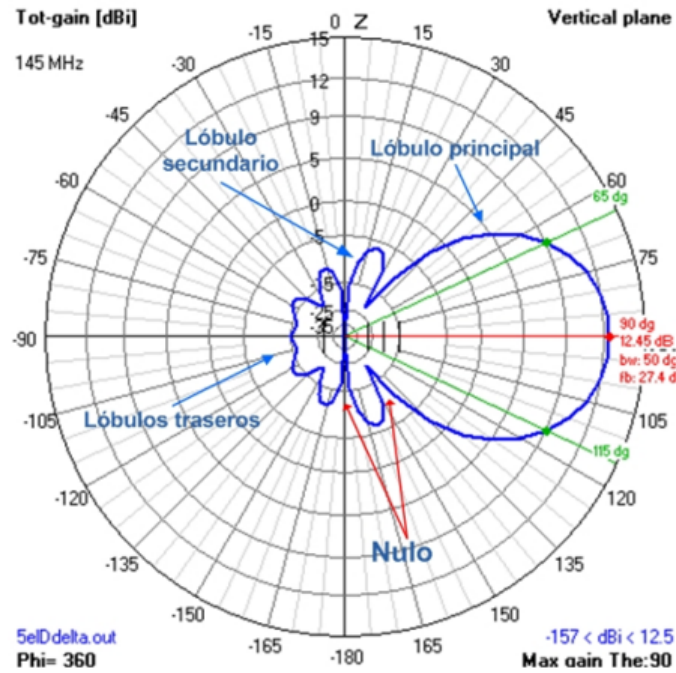


Figura 2.14: Diagrama de radiación en el plano vertical de una antena con polarización horizontal [5].

2.8.3. Ángulo de inclinación o tilt

Es el ángulo de inclinación de la antena con respecto a la dirección vertical donde parte el patrón de radiación. Cuando la antena está inclinada hacia abajo, lo llamamos *downtilt*, que es el uso más común. Si la inclinación es hacia arriba (casos muy raros y extremos), que llamamos *uptilt*. En sistemas de TDT generalmente se utiliza *downtilt*. Una manera de incluir este parámetro en predicciones de campo es utilizar la ecuación 2.13, pero aplicado de manera inversa las ganancias es decir G_H como patrón de radiación vertical y G_V el horizontal.

2.8.4. Azimut

Se define como el ángulo medido desde el norte geográfico de la tierra con respecto a una determinada coordenada en dirección norte-este.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

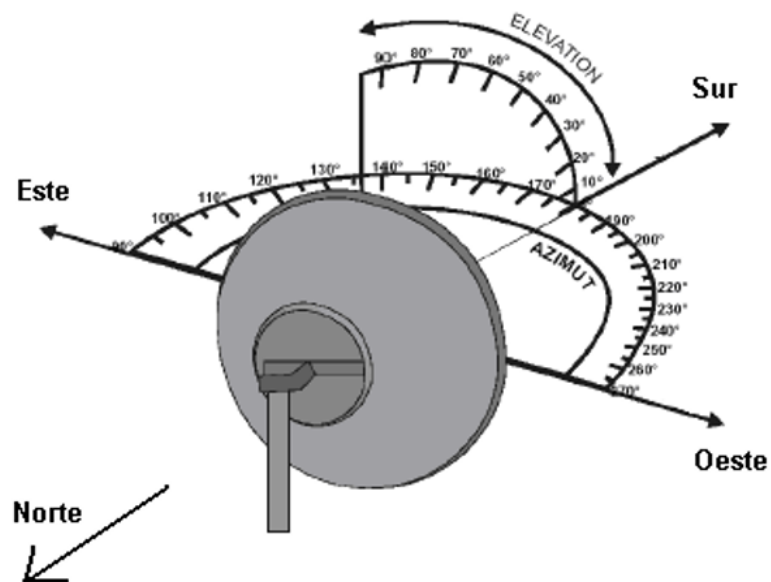


Figura 2.15: Antena parabólica con un azimut de 180 grados.

Capítulo 3

Modelo de propagación de la señal TDT

En este capítulo se analizan zonas representativas de la ciudad de Cuenca que permiten estimar las dimensiones del MDT para la simulación de cobertura. Analizamos zonas urbanas, suburbanas y rurales de la ciudad así como la densidad poblacional para calcular el número de habitantes de la ciudad a los que el proyecto influencia.

También se aplican el modelo Okumura-Hata y la recomendación ITU-R P.1546-5, modelo de propagación recomendado por la Agencia Nacional de Telecomunicaciones (ANATEL) de Brasil.

3.1. Ubicación geográfica y división política del cantón Cuenca

Cuenca es la tercera ciudad más importante del Ecuador capital de la provincia del Azuay. La ciudad se encuentra situada en la región sur central del Ecuador, geográficamente entre las coordenadas $2^{\circ}39'$ a $3^{\circ}00'$ de latitud sur y $78^{\circ}54'$ a $79^{\circ}26'$ de longitud oeste como se menciona en [26]. La zona urbana de la ciudad se encuentra a una altura sobre el nivel del mar de 2560 m.s.n.m. La plaza central se sitúa a 2541,5 m.s.n.m. La altura sobre el nivel del mar en la zona rural varía de 1000 a 4560 metros; limita al norte con la provincia del Cañar, al sur con los cantones Camilo Ponce Enríquez, San Fernando, Santa Isabel y Girón, al oeste con la provincia del Guayas y al este con los cantones Guacaleo, Paute y

CAPÍTULO 3. MODELO DE PROPAGACIÓN DE LA SEÑAL TDT

Sigsig.

Cuenca representa el 38.3 % de la provincia del Azuay. Está dividido en 15 parroquias urbanas y 22 parroquias rurales con un área total de 72,32 km² que representa el 2,34 % del área total del cantón que es de 3086 km² [26] . En la figura 3.1 y tabla 3.1 se puede observar la distribución de las parroquias urbanas en la ciudad.

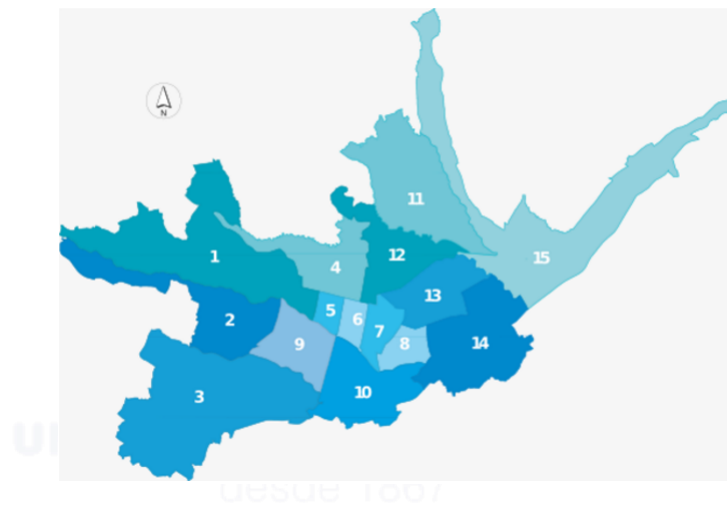


Figura 3.1: Parroquias urbanas del cantón Cuenca [6].

1. San Sebastián	9. Sucre
2. El Batán	10. Huayna Cápac
3. Yanuncay	11. Hermano Miguel
4. Bellavista	12. El Vecino
5. Gil Ramírez Dávalos	13. Totoracocha
6. El Sagrario	14. Monay
7. San Blas	15. Machángara
8. Cañaribamba	

Tabla 3.1: Descripción de las Parroquias Urbanas del Cantón Cuenca [6].

3.2. Población de la ciudad de Cuenca

De acuerdo con el instituto nacional de estadísticas y censos (INEC), el cantón Cuenca tiene un total de 505.585 habitantes que corresponde al 71 % del total de habitantes de la provincia del Azuay. La distribución urbana y rural de la población se detalla en la tabla 3.2. En la ciudad de Cuenca existen habitantes

Zona Cantonal	Población	Porcentaje
Área Urbana	329928	65,26 %
Área Rural	175657	34,74 %
Total	505 585	100 %

Tabla 3.2: Población del cantón Cuenca. Fuente: INEC-2010.

que se encuentran en las parroquias rurales unidas a la zona urbana, es decir, una zona suburbana, el número total de habitantes suman 1960 de acuerdo al INEC. Es decir, que el total de habitantes en las zonas urbanas es de 331.888 y los de la zona rural de 173.523.

3.2.1. Crecimiento poblacional

De acuerdo con el INEC la tasa de crecimiento poblacional en el Ecuador para el 2010 era del 1.9%. Según [27] se pueden obtener las proyecciones para el cantón Cuenca que se muestran en la tabla 3.3

Código	Nombre de Cantón	2016	2017	2018	2019	2020
101	Cuenca	591 996	603 269	614 539	625 775	636 996

Tabla 3.3: Proyección de la población ecuatoriana, Fuente: INEC-2010.

3.2.2. Densidad poblacional

De acuerdo con los datos de población del INEC se obtiene que el número de habitantes por kilómetro cuadrado para la zona urbana de la ciudad de Cuenca

CAPÍTULO 3. MODELO DE PROPAGACIÓN DE LA SEÑAL TDT

es de 4562 hab/km^2 , mientras que en la zona rural se tiene una densidad de 57 hab/km^2 . La densidad poblacional para la zona urbana de la ciudad de Cuenca urbana por parroquias se detalla en la tabla 3.4.

Densidad Poblacional hab/km^2	Parroquias Urbanas
1597-3071	Machangara ,Huayna Cápac, Hermano Miguel
3071-5090	San Sebastián, Batan ,Yanuncay, Monay.
5090-7934	Bellavista, San Blas,Sucre
7934-9030	El sagrario, El vecino,Totoracocha
9030-11453	Cañaribamba,Gil Ramires Davalos

Tabla 3.4: Densidad poblacional zona urbana de Cuenca. Fuente: INEC-2010.

3.2.3. Estimación de población

El alcance del proyecto establece que se va a obtener un modelo de propagación de TDT para la zona urbana y suburbana de la ciudad lo que implica que se debe considerar el número de habitantes al que el proyecto influencia a través del tiempo. Se mencionó que el 94 % de los ecuatorianos tienen un televisor en su hogar, teniendo en cuenta esto y los datos mencionados en la tabla 3.3 se obtienen los siguientes resultados.

Año	Población(Proyección)	94 % Usan TV	65,26 % INEC 2010
2016	591996	556476,24	363156,39
2017	603269	567072,86	370071,75
2018	614539	577666,66	376985,26
2019	625775	588228,5	383877,92
2020	636996	598776,24	390761,37

Tabla 3.5: Proyección de los habitantes a los que influencia el proyecto.

3.3. Estimación de cobertura de acuerdo a modelos recomendados

En esta sección se expone a manera de cálculo como se procede para aplicar la metodología descrita en el capítulo 2. Se analiza el efecto de una antena transmisora (T_x) omnidireccional situada en Ictocruz, en la zona de Turi sobre un receptor (R_x) ubicado a una distancia de 5 km en dirección al centro de la ciudad. Se considera que la antena transmisora se encuentra ubicada en las coordenadas: 2,930900° de latitud Sur y 78,997483° de longitud Oeste.

3.3.1. Modelo Okumura-Hata

Para aplicar el modelo se necesitan definir algunos parámetros de acuerdo a las características de propagación de una señal de TDT siguiendo la metodología descrita en el punto 2.5.1, los parámetros más relevantes se describen a continuación:

1. **Frecuencia:** De acuerdo a la norma técnica para el servicio de radiodifusión de televisión digital terrestre vigente en el Ecuador, se establecen rangos de frecuencia entre 470 y 662 MHz para TDT. Para el ejemplo utilizamos una frecuencia de 600 MHz.
2. **Altura del receptor R_x (h_2):** Con la finalidad de obtener cálculos previos, se considera una altura de 10 m. Esta altura variará con el desarrollo del proyecto.
3. **Distancia (R):** Para el cálculo se utiliza una distancia de 5 km.
4. **Factor para la distancia(b):** Para distancias R menores a 20 km el valor de b es 1 caso contrario se debe calcular el valor de b de acuerdo a la ecuación 2.2.
5. **Altura efectiva (h_1):** Se obtiene de calcular el promedio de alturas entre el transmisor y receptor teniendo muestras de altura del perfil de elevación.

CAPÍTULO 3. MODELO DE PROPAGACIÓN DE LA SEÑAL TDT

Para obtener valores muy aproximados a la realidad usamos *GoogleEarth*[®] con la finalidad de obtener el perfil de elevación o valores de alturas a una distancia determinada.

Las coordenadas donde se considera la ubicación del transmisor corresponde al cerro Ictrocruz y el receptor está ubicado a una distancia de 5 km en dirección al centro de la ciudad, tomamos muestras de alturas cada 500 m con la finalidad de obtener 10 muestras. El perfil de elevación se muestra en la figura 3.2. Las muestras de alturas se observan en la tabla 3.6. El valor

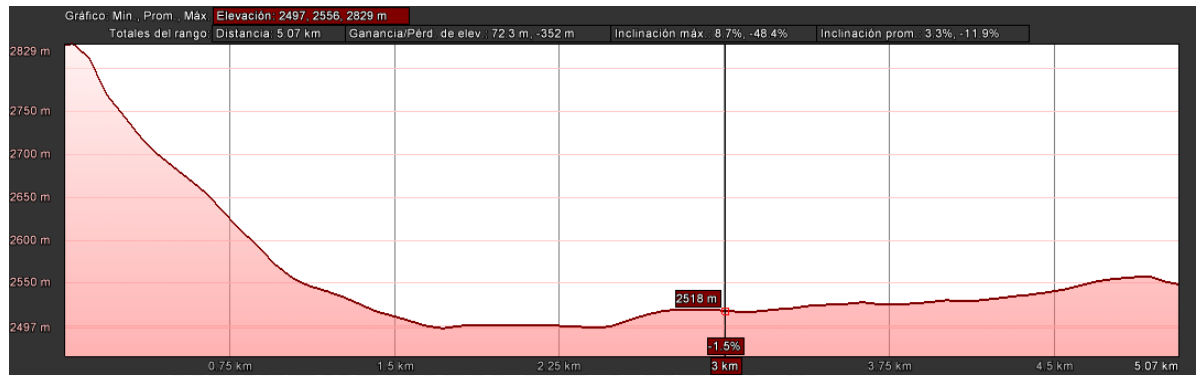


Figura 3.2: Perfil de elevación desde el cerro de Ictrocruz para una distancia de 5km. Fuente: *GoogleEarth*[®].

Número de Muestra	Distancia(m)	Altura(m)
1	500	2683
2	1000	2562
3	1500	2511
4	2000	2501
5	2500	2502
6	3000	2518
7	3500	2525
8	4000	2530
9	4500	2541
10	5000	2552

Tabla 3.6: Valores de alturas a una distancia determinada.

de h_1 se calcula de la diferencia de alturas entre el transmisor y el promedio

obtenido en base al perfil de elevación.

$$h_{promedio} = 2659,7m$$
$$h_1 = h_{total} - h_{promedio} = 247,5m$$

6. **Factor de corrección de la altura de la antena receptora $a(h_2)$:** Se calcula de acuerdo a su ecuación que para el valor de 600 MHz y de h_2 se obtiene:

$$a(h_2) = (1,1 \log f - 0,7) - (\log f - 0,8) \quad a(h_2) = 20,0257$$

Una vez obtenidos los datos reemplazamos en la ecuación (2.2).

Y obtenemos que la intensidad de campo es:

$$E = 85,3862 \text{ dB}(\mu V/m)$$

3.3.2. Recomendación ITU-R P.1546-5

Para el cálculo de la intensidad de campo a una distancia determinada, se usan los datos usados en el punto anterior. Para este caso, se toma el mismo perfil teniendo en cuenta la línea de vista entre el transmisor y el receptor. Además se deben tomar los datos presentados en las tablas tabuladas(ver anexo A).

1. **Altura efectiva h_1 :** Se obtiene a través del perfil de elevación y las muestras de altura. El procedimiento es el mismo descrito en 3.3.1, por lo que usamos el mismo valor de **247,5 m**.
2. **Altura efectiva nominal inferior h_{inf} :** Se utiliza el valor de h_{inf} como el valor menor a h_1 , tabulado en base a la figura 2.5, ver anexo A. El valor de h_{inf} es de 150 m.
3. **Altura efectiva nominal superior h_{sup} :** Se utiliza el valor de h_{sup} como el valor mayor a h_1 tabulado en base a la figura 2.5, ver anexo A. El valor es de 300 m.
4. **Intensidad de campo para $h_{inf}(E_{inf})$:** Se toma en valor de la intensidad de campo E_{inf} correspondiente a h_{inf} . $E_{inf} = 81,92 \text{ dB}(\mu V/m)$

5. **Intensidad de campo para h_{sup} (E_{sup}):** Se toma en valor de la intensidad de campo E_{sup} correspondiente a h_{sup} . $E_{sup} = 86,46 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$
6. **Intensidad de campo (E):** Reemplazando los valores de 1 a 5 en la ecuación 2.6 se obtiene:

$$E = 85,1501 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$$

7. **Corrección para altura de antena receptora/móvil y debida a la diferencia de altura :** A través de la ecuación 2.8 obtenemos la corrección para la altura de R_x en donde se consideran obstáculos cercanos, ángulos de elevación entre otras características importantes que se dan en una transmisión de TDT. Los valores de alturas que se consideran son 10 m para Rx y de 20 m para T_x .

Usando la ecuación 2.10 se obtiene el valor de la segunda corrección debida a la diferencia de alturas, distancia horizontal y la pendiente sobre el nivel del mar, luego se suman las 2 correcciones obtenidas para obtener un valor total.

$$Correccion_{Total} = Correccion_{R_x} + Correccion_{dif_alturas}$$

$$Correccion_{Total} = 3,1572 \text{ dB}$$

8. **Intensidad de campo total (E_{total}):** se obtiene de restar la intensidad de campo obtenida menos el valor total de correcciones.

$$E_{total} = 81,9929 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$$

3.3.3. Comparación entre el modelo Okumura-Hata y la recomendación ITU-R P.1546-5

Siguiendo el procedimiento descrito en los puntos 3.3.1 y 3.3.2 se pueden obtener valores de intensidad de campo para diferentes valores de distancias. La tabla 3.7 muestra resultados para los dos modelos, h_1 se obtiene del promedio de diez muestras de altura para la distancia determinada.

CAPÍTULO 3. MODELO DE PROPAGACIÓN DE LA SEÑAL TDT

En la tabla 3.7 se detalla los resultados del cálculo de la intensidad de campo

Distancia Km	Altura Efectiva h_1 (m)	Intensidad de Campo Okumura-Hata dB($\mu V/m$)	Intensidad de Campo ITU-R,P.1546-5 dB($\mu V/m$)	Intensidad de Campo ITU-R,P.1546-5 con Correcciones dB($\mu V/m$)	% Diferencia Okumura –ITU Con Corrección
2	206,4	95,7694	95,3079	89,9191	6,10
3	235	91,4877	91,1099	85,9711	6,02
4	247,9	88,2306	87,9423	83,9229	4,88
5	245,7	85,3279	85,1501	81,9972	3,90
6	245,5	83,0057	82,8685	80,2611	3,30
7	239,5	80,8398	80,7299	78,5637	2,81

Tabla 3.7: Intensidad de campo y porcentaje de diferencia entre modelos de propagación.

de acuerdo a los 2 modelos. De los datos obtenidos se puede establecer que la diferencia porcentual promedio, excluyendo las correcciones, es de **0,28 %**. Cuando se toma en cuenta las correcciones, la diferencia porcentual entre la ITU-R P.1546-5 con respecto al modelo de Okumura-Hata es de **4.5 %**.

A medida que la distancia aumenta, la intensidad de campo disminuye. Para el caso de la recomendación, los valores de la intensidad de campo en general son menores un 4 % a los obtenidos con el modelo de Okumura-Hata (ver figura 3.3). Esta diferencia resulta importante en puntos críticos, donde la intensidad de campo se encuentra en los límites de los mínimos establecidos según la regulación para TDT como en valores cercanos a 51 dB($\mu V/m$).

3.3.4. Consideraciones adicionales

Para el modelo de Okumura-Hata, en donde las distancias son mayores a 20 km, se debe tener en cuenta el valor del factor para la distancia (b) de acuerdo a la ecuación 2.3 y la ecuación 2.4. Para valores menores a 1 km, en la recomendación ITU-R P.1546-5, se debe aplicar la ecuación 2.12.

Uno de los aspectos más relevantes es la altura efectiva h_1 . En los ejemplos de estimación para los 2 modelos se ha utilizado muestras de alturas cada 100 m de

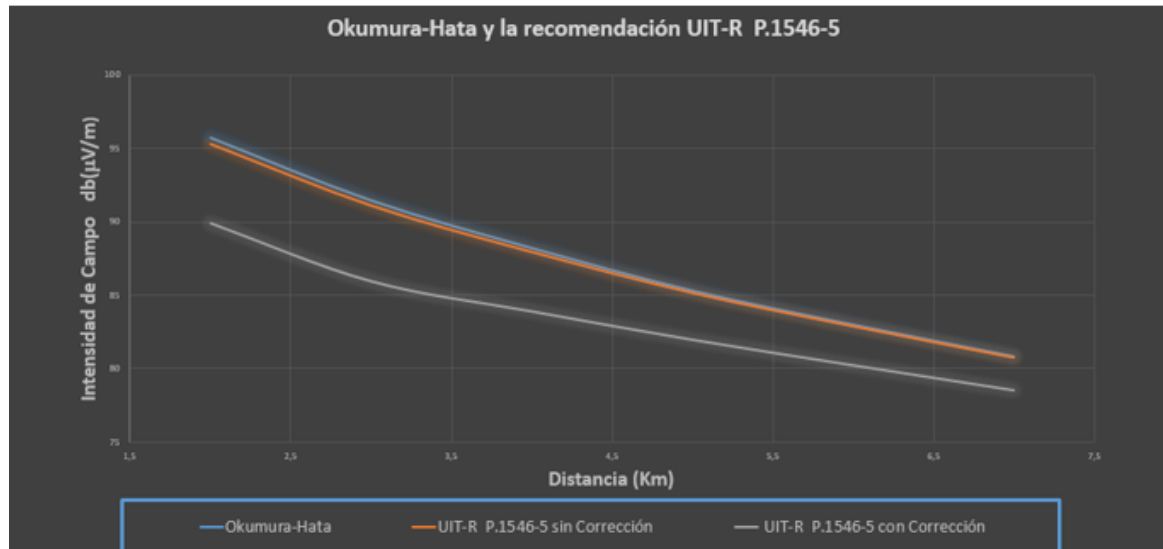


Figura 3.3: Grafico de la intensidad de potencia en función de la distancia para la ITU-R P.1546-5 y el modelo Okumura-Hata.

distancia ya que el objetivo fue describir la estimación con enfoque en el cálculo. Si tomamos muestras de alturas a menores distancias se obtendrá evidentemente un modelo **más cercano a la realidad topográfica del terreno y una mejor predicción de campo**, es aquí en donde se evidencia la potencialidad de los MDT especialmente de los MDE ráster. **Mientras mayor definición tenga el modelo ráster mejor será la predicción de campo.**

3.4. Planteamiento y simulación del modelo de propagación de la señal TDT

La simulación de un modelo de propagación permite implementar un mecanismo de predicción de señal en un punto determinado en base a un parámetro. La predicción en la que se centra el proyecto es la cobertura de señal de TDT y el parámetro que usamos es la intensidad de campo a una determinada distancia. Para simular el modelo de propagación se necesita un MDE. En este caso un MDE que permite obtener muestras de altura cada cierta distancia dependiendo

de la resolución del MDE.

3.4.1. Obtención del MDE

El MDE debe contener a toda la ciudad de Cuenca urbana y suburbana. El MDE que se usa en el trabajo es mayor a la extensión que la zona urbana y suburbana de la Ciudad.

Como se menciona en el capítulo 2, el MDE que se va a utilizar es el modelo ráster; modelo obtenido a través de un satélite en base a MDT liberados por la NASA. A continuación se describen los pasos para obtener el MDE.

- a) **Obtención del mapa oficial:** En [7] se obtienen mapas disponibles a través de diferentes bases de datos online. Se pueden descargar mapas para diferentes ciudades y lugares de la tierra (ver la figura 3.4).

Se puede descargar diferente tipo de información para un MDT por lo que se

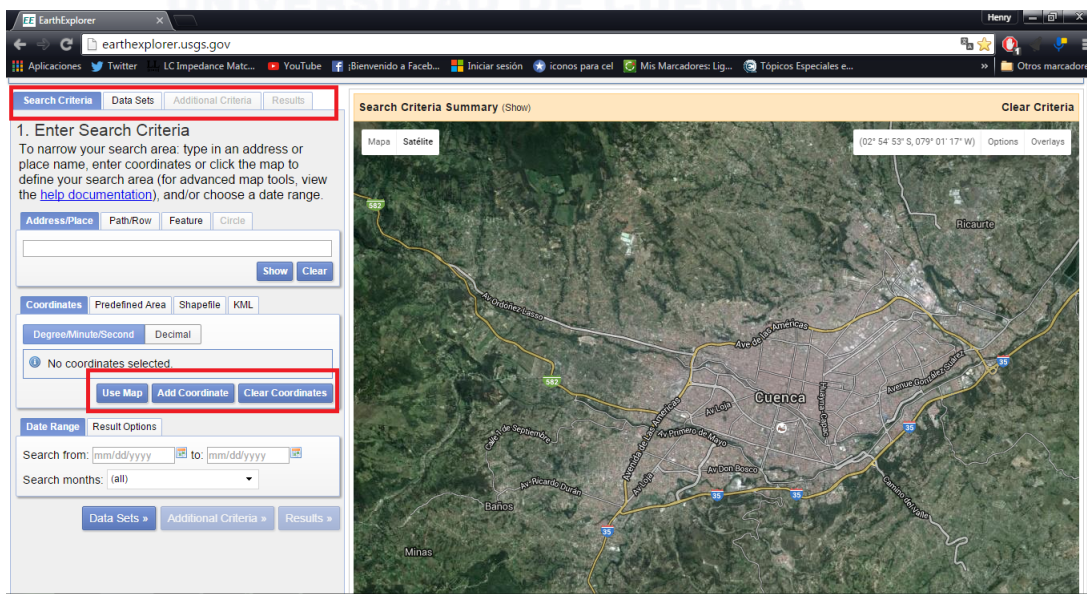


Figura 3.4: Mapa de la ciudad de Cuenca para obtener un MDE. Fuente: [7].

selecciona la opción *Digital Elevation* que permite obtener el MDE del mapa seleccionado a través de un polígono o de coordenadas WGS84.

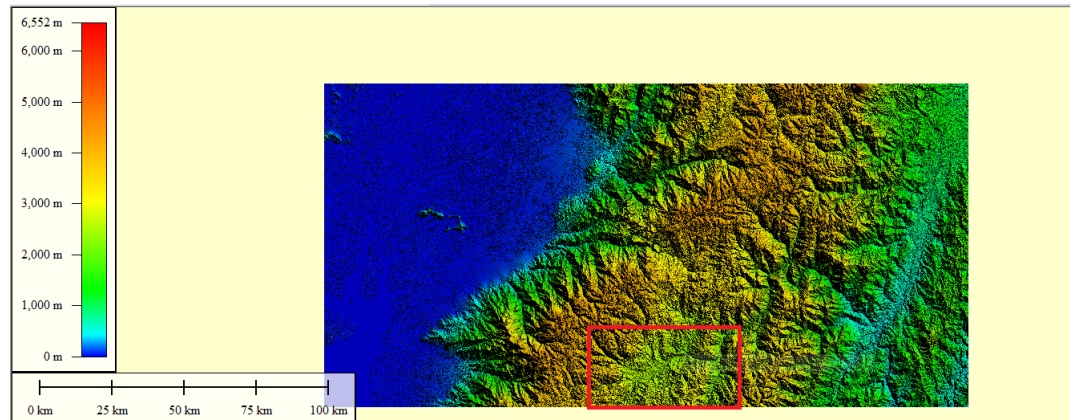


Figura 3.5: Mapa de las zonas geográficas S03W79 y S03W80.

- b) **Procesamiento del mapa:** Como Cuenca se encuentra en 2 zonas geográficas (S03W79 y S03W80) se obtienen dos archivos. Estos archivos corresponden a zonas geográficas del Ecuador por lo que se deben recortar los MDEs y unirlos. Para esto se utiliza el programa *Global Mapper*® que permite la manipulación de este tipo de archivos. Los archivos en Global Mapper se observan en la figura 3.5.

Global Mapper permite guardar el MDE con diferentes tipos de formatos, en el capítulo 2 se mencionó que el formato para MDE que se va a usar es Grid ASCII por sus diferentes ventajas. El MDE obtenido tiene las características definidas en la tabla 3.8.

Tipo Formato	MDE Tipo Raster INFO ASCII GRID
Sistema de Coordenadas	WGS84
Limites Latitud	2°48'54"S; 2°56'27, 6"S
Limites de Longitud	79°06'54"O; 78°52'48"O
Resolución	30 m por Píxel

Tabla 3.8: Características del MDE obtenido.

3.4.2. Descripción del software

El software se desarrolló en el entorno de Matlab y es una modificación a Mirone [28], programa que permite la manipulación de MDTs. Mirone se usa para estudios de deformación elástica, propagación de tsunamis y reconstrucción de las placas tectónicas. En definitiva en el trabajo se desarrolla **RadiUC**, programa basado en Mirone, modificándolo para la simulación de modelos de propagación de señales radioeléctricas.

3.4.3. Desarrollo del software

Se ha denominado RadiUC al software desarrollado en Matlab. En este software, se implementan los dos modelos de propagación (Okumura-Hata / ITU-R P.1546-5) obteniendo como resultado matrices que contienen el valor de la intensidad campo para cada pixel en el MDE ráster. El software consta en breves rasgos de seis etapas (ver figura 3.6).

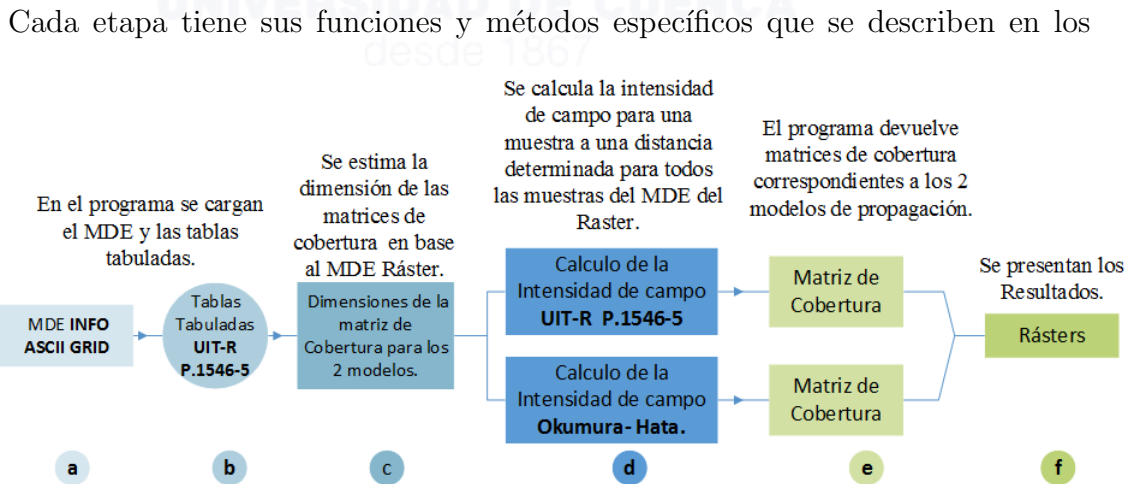


Figura 3.6: Diagrama de bloques de las etapas del software.

siguientes puntos.

1. Implementación del software *RadiUC*

El software esta implementado en Matlab a manera de funciones. Las funciones se utilizan en todas las etapas del programa. Se crea una función

principal llamada *Potencia()*, en la cual se implementa toda la programación. Las etapas detalladas en la figura 3.6 y sus funciones principales asociadas se describen a continuación.

- a) Para la primera etapa, la función que permite leer un archivo de tipo *ASCII GRID* es la función *arcgridread()*, para la cual los valores de entrada son la dirección del archivo y el nombre. Esta propiedad permite cargar en dos matrices *Z* y *R* que permiten la manipulación numérica de los valores del MDE.
- b) El archivo *tabla150.dat* contiene los datos de tablas tabuladas correspondientes a la figura 2.5 de la intensidad de campo en función de la distancia de acuerdo a la recomendación ITU- R P.1546-5 (ver anexo A). A través de la función *load()* se cargan esos datos para poder utilizarlos en el programa. Esto corresponde a la segunda etapa del programa.
- c) En la tercera etapa, la banda inicial del ráster con el que se trabaja representa valores de alturas para una celda de 30 m en un MDT. La estructura del MDE es enumeración exhaustiva. Las matrices que caracterizan el MDE permiten obtener las dimensiones de los ráster que contendrán como banda la intensidad de campo en una celda determinada, esto se realiza a través de una función *size()*.
- d) La cuarta etapa corresponde al cálculo de la intensidad de campo para los dos modelos. Se inicia calculando la distancia, el perfil de elevación en forma de vector; a través de la función "los2" de Matlab. Luego se calcula la altura efectiva h_1 , utilizando las coordenadas de la celda a la que se está evaluando que corresponde a un píxel en una ubicación determinada de la matriz que representa el MDE, para obtener las coordenadas se utiliza la función *pix2latlon()*, que se utiliza para obtener a partir de índices los valores de latitud o longitud. El cálculo se realiza desde la parte superior izquierda y va de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo tal como está estructurado el modelo ráster. Luego de que se tienen los valores necesarios, se procede al cálculo de la intensidad de campo a través de la **ecuación 2.6 implementada en el programa para**

la recomendación ITU-R P. 1546-5 y de la ecuación 2.2 para el Modelo de Okumura-Hata.

- e) En la quinta etapa, los valores de la intensidad de campo, para los dos modelos en cada celda evaluada, se guardan en matrices con las mismas dimensiones del MDE original, al final se obtienen matrices: $Z_{campo_electrico()}$ y $Z_{okumura()}$, que en esencia son ráster en donde la banda es la intensidad de campo.
- f) Finalmente, a través de las funciones *arcgridwrite()* y *loadGRID()* se presentan los resultados en la interfaz de usuario. Los modelos obtenidos se pueden guardar o realizar cualquiera de las operaciones para un MDE que el programa permite. Otra de las ventajas en este punto es que a través de la herramienta *iluminación de la sombra*, ver figura 3.8, se puede observar los niveles de intensidad de campo para calles avenidas zonas urbanas, suburbanas y rurales que se encuentran dentro de las dimensiones del MDE caracterizado por la tabla 3.8.

Durante las pruebas de implementación la duración para que el programa obtenga una respuesta fueron de alrededor de una hora debido al número de operaciones y a la cantidad de celdas contenidas en el MDE, debido a esto se optimizó el proceso añadiendo programación paralela *parfor*, disminuyendo considerablemente el tiempo de respuesta a menos de la mitad del tiempo que tardaba en un inicio.

2. Interfaz gráfica

La interfaz gráfica está relacionada con el punto 1 y 6 (ver figura 3.6) donde se adquiere el MDE ráster en formato ASCII en la figura 3.7 se muestra la interfaz gráfica general del programa.

El programa tiene en la parte superior la barra de menús y herramientas. Las herramientas *iluminación de la sombra* y *ver en Google Earth* (figura 3.8), son de especial uso en el proyecto la una permite una visualización en diferentes formas del MDE y la otra permite una interfaz con el programa Google Earth para visualizar el ráster.

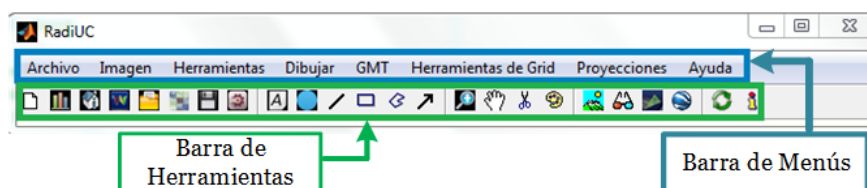


Figura 3.7: Interfaz gráfica del programa.

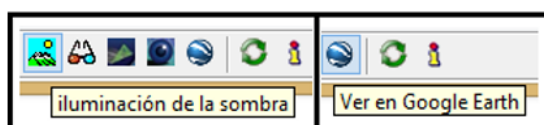


Figura 3.8: Herramientas de iluminación.

3. Manejo del MDE

El manejo del MDE se realiza en todas las etapas del software (ver figura 3.6). El tipo de archivo ráster que se maneja en el proyecto es un MDE con formato INFO ASCII GRID. Cuando se abre a través del programa, se obtiene una interfaz en donde se puede, a través del cursor, obtener el valor de altura en m.s.n.m para cualquier valor de coordenada (ver figura 3.9). El programa también permite recortar el ráster.

Al MDE se le puede visualizar de 7 diferentes formas a través de la herramienta *iluminación de la sombra* (ver figura 3.8). También se puede observar el mapa de elevaciones en Google Earth con la herramienta *ver en Google Earth*, que permite visualizar avenidas, edificios y diferentes zonas de la ciudad además de todas las características que presenta Google Earth. Dentro de la barra de menús, podemos obtener la distancia entre dos puntos en el ráster con la herramienta *medir* del menú herramientas. También se puede obtener el perfil de elevación de manera estática o dinámica (ver figura 3.10).

3.4.4. Simulación de los modelos de propagación

Se efectúa la estimación del área de cobertura de una antena ubicada en Ictocruz, considerando el MDE del terreno para muestras de elevación cada 30 m.

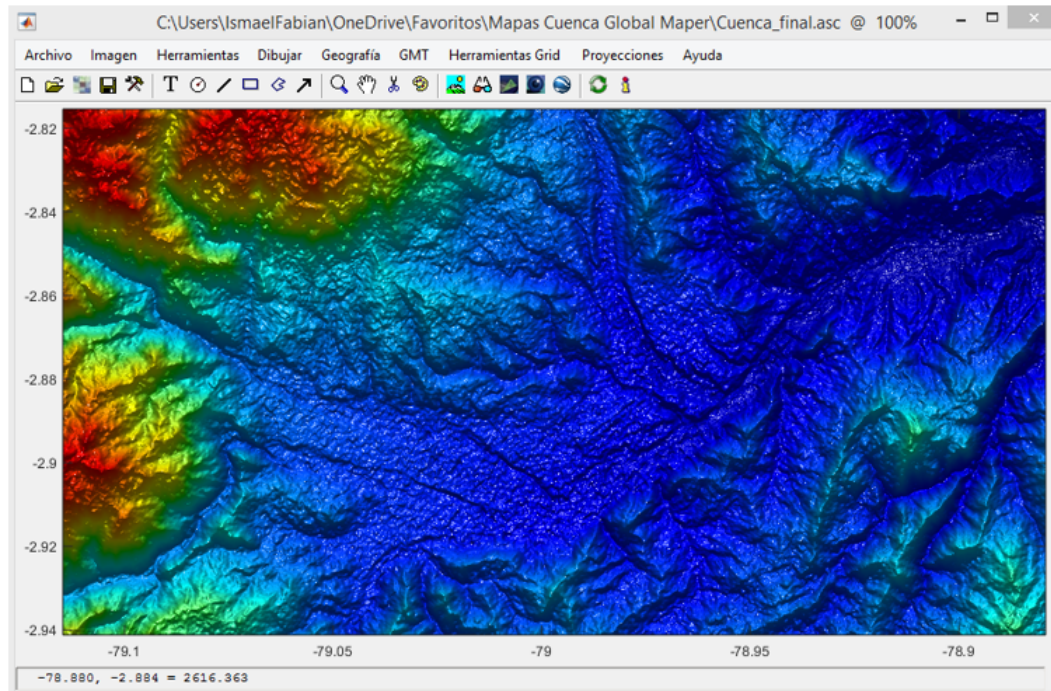


Figura 3.9: MDE de Cuenca en RadiUC desarrollado en Matlab.

La estimación de cobertura se realiza para el 50 % del tiempo. Parámetros del sistema: corresponden a los parámetros técnicos y de ubicación geográfica del sistema, se detallan en la tabla 3.9.

Okumura-Hata: Se realizó la implementación de la metodología para la aplicación del modelo descrito en el punto 2.5.1 aplicando el método desarrollado en la sección 3.3.1. El MDE ráster corresponde al detallado en la tabla 3.8. El número de muestras para el cálculo de la altura efectiva h_1 depende de la distancia a la celda en el ráster como ejemplo si la distancia es de 5 km hay un total de 166 muestras de altura si la celda está en línea recta. En el gráfico de la intensidad de campo que se obtiene se puede obtener el valor de campo para cualquier punto de coordenadas (x, y) , ver figura 3.11.

Utilizando la herramienta de *Google Earth* se puede visualizar la simulación y ver los niveles de potencia para la zona urbana, suburbana y parte de la rural del cantón Cuenca, ver figura 3.12. Las zonas de azul corresponden a celdas para las cuales el valor de la intensidad de campo resultó imaginaria, con el fin de

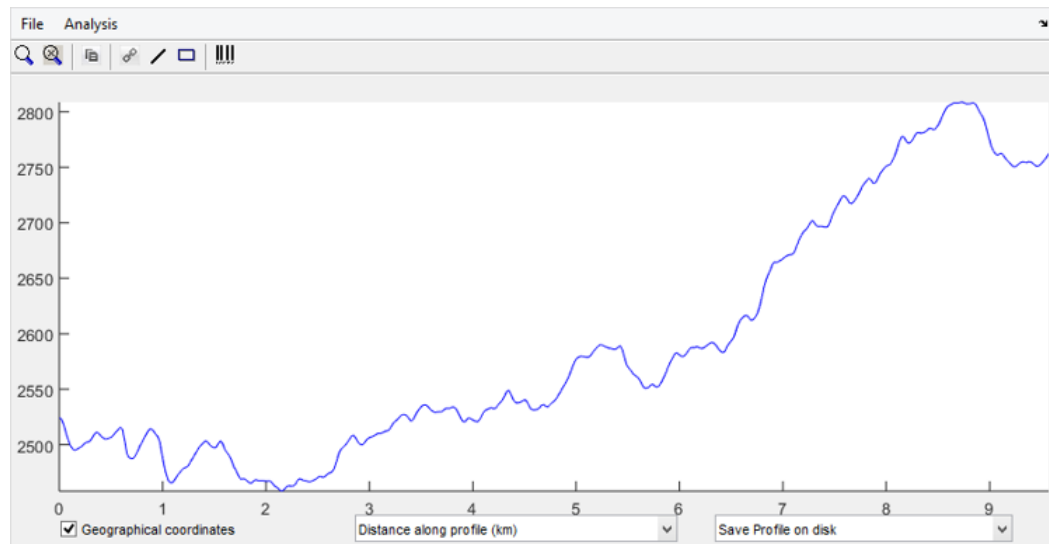


Figura 3.10: Perfil estático de elevación.

UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

Frecuencia portadora	600MHz
Ganancia Tx	15dbi
Longitud Tx	78,99774° O
Latitud Tx	2,9309° S
Intensidad de campo mínima	51 dB(uV/m)
Altura Tx	20 m
Altura Rx	10 m
Altura m.s.n.m base Tx	2770 m

Tabla 3.9: Parámetros del sistema para la simulación de los modelos de propagación.

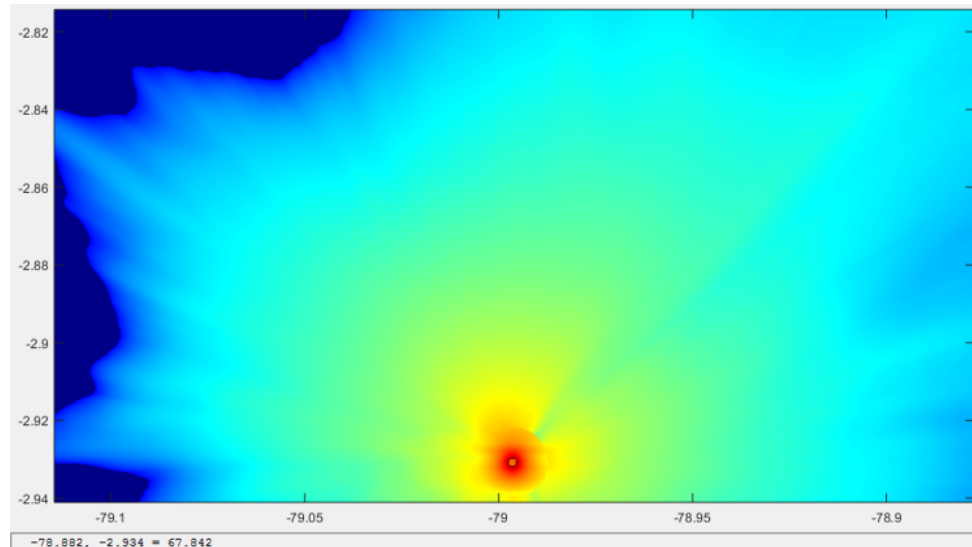


Figura 3.11: Gráfico de la intensidad de campo $dB(\mu V/m)$ para Cuenca según el modelo Okumura-Hata.

presentar los resultados de manera gráfica se configura en el programa un valor genérico de $40 \text{ dB}(\mu V/m)$ que está por debajo del mínimo valor según la norma para TDT en el Ecuador y que se puede representar gráficamente.

En el programa se puede obtener de manera dinámica o estática la variación de la intensidad de campo para cualquier celda a una distancia de la antena transmisora. Por ejemplo, en la figura 3.13 se obtiene de manera estática la variación de una celda ubicada a 9 km de distancia.

En base a la figura 3.13 y con Google Earth se toma un valor de coordenada WGS84 para cada parroquia urbana de la ciudad y se obtiene el valor de la intensidad de campo en $dB(\mu V/m)$ de la simulación del modelo los resultados se exponen en la tabla 3.10.

Recomendación ITU-R P.1546-5: Se realizó el cálculo de potencia descrito en el punto 2.5.2 para el MDE detallado en la tabla 3.8. Los datos correspondientes a los valores de campo en función de la altura que son necesarios para la aplicación de la recomendación se toman de las tablas tabuladas proporcionadas por la ITU (ver anexo A). El valor de la intensidad de campo representa el parámetro que define el nivel de cobertura para una celda permitiendo obtener el área de cobertura para todo el ráster. Al igual que en el caso del modelo Okumura- Hata

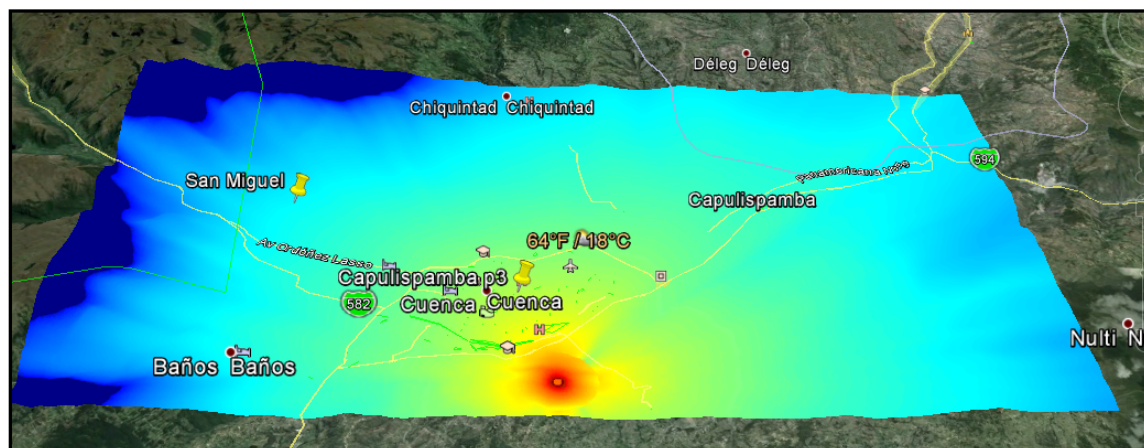


Figura 3.12: Gráfico de la intensidad de campo $db(\mu V/m)$ para Cuenca según el modelo Okumura-Hata en Google Earth.

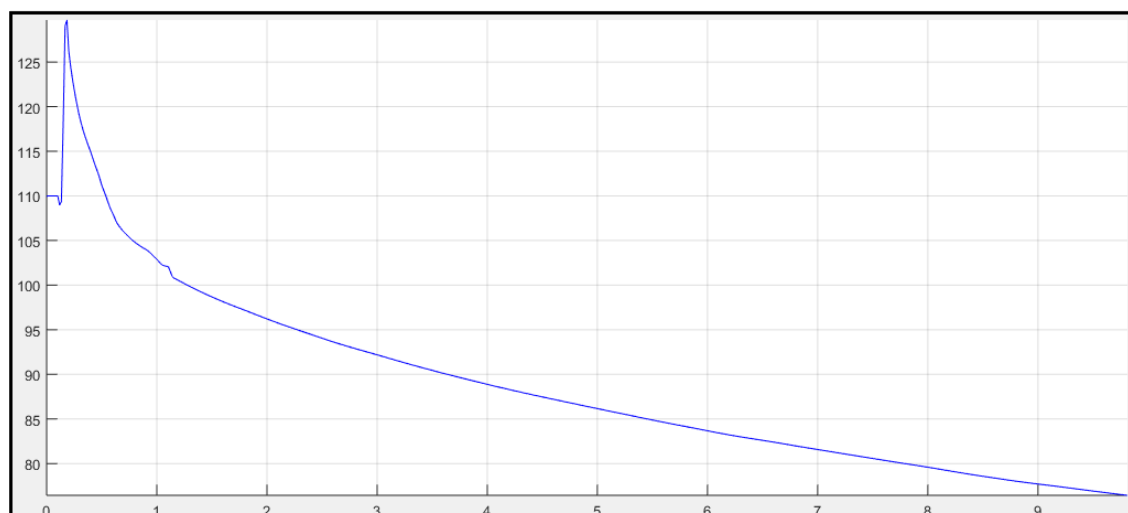


Figura 3.13: Variación de la intensidad de campo $db(\mu V/m)$ en función de la distancia.

Parroquia	Latitud (grados)	Longitud (grados)	Campo dB ($\mu V/m$)
San Sebastián	-2,890	-79,026	82,327
El Batán	-2,896	-79,033	81,411
Yanuncay	-2,914	-79,052	78,495
Bellavista	-2,881	-79,005	83,827
Gil Ramírez Dávalos	-2,892	-79,015	85,060
El Sagrario	-2,892	-79,006	86,545
San Blas	-2,898	-78,998	89,572
Cañaribamba	-2,905	-78,988	97,351
Sucre	-2,900	-79,016	86,091
Huayna Capac	-2,915	-78,999	95,274
Hermano Miguel	-2,871	-78,988	82,593
El Vecino	-2,881	-78,988	85,009
Totoracocha	-2,890	-78,988	87,175
Monay	-2,901	-78,976	90,099
Machángara	-2,883	-78,951	95

Tabla 3.10: Intensidad de campo para las parroquias urbanas de Cuenca según Okumura-Hata.

el número de muestras de alturas del perfil de elevación depende de la distancia a la que esté el punto geográfico al cual se le está evaluando. La respuesta del programa es un ráster en donde se puede obtener la intensidad de campo para cualquier punto de coordenadas (x,y) con una resolución de 30 m por celda (ver figura 3.14).

La diferencia gráfica más notable son los puntos *vacíos* de color azul (ver figura 3.14). Esto se debe a que la recomendación considera la línea de vista como uno de los parámetros más importantes para la estimación de la potencia. El archivo obtenido es un MDE ráster en donde la banda (matriz z) es la intensidad de campo y los valores (x,y) son coordenadas en el sistema WGS84, esto permite que se pueda visualizar en Google Earth gráficamente el nivel de cobertura para la zona urbana, suburbana y parte de la rural del cantón Cuenca (ver figura 3.15).

El archivo obtenido tiene todas las propiedades de un ráster y se le pueden aplicar todas las funciones en el programa. Para obtener un gráfico de variación del campo en función de la distancia en una dirección determinada se utiliza la herramienta de perfil estático (ver figura 3.16). En la figura, se observa la variación

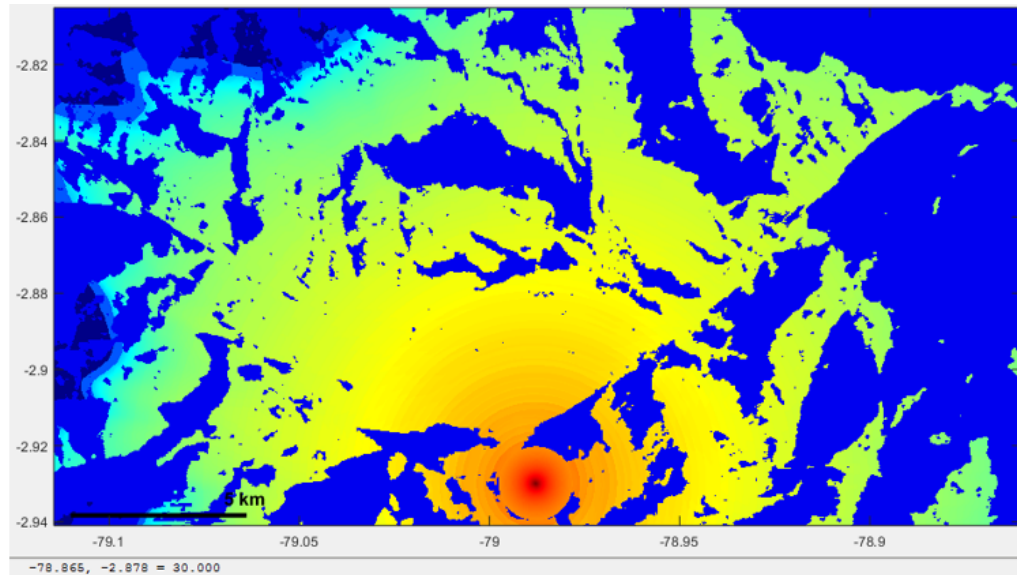


Figura 3.14: Gráfico de la Intensidad de Campo $dB(\mu V/m)$ para Cuenca según la recomendación ITU-R P.1546-5.

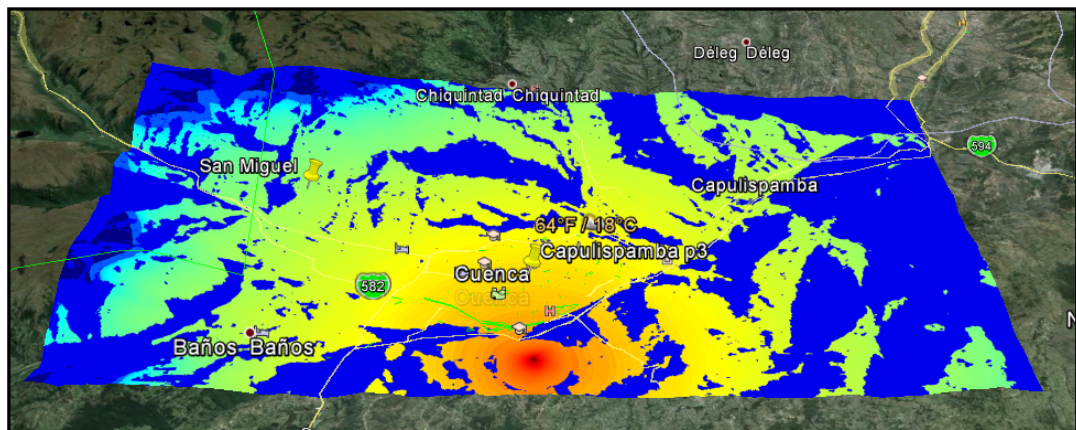


Figura 3.15: Gráfico de la intensidad de campo $dB(\mu V/m)$ para Cuenca según recomendación ITU-R P.1546-5 en Google Earth.

CAPÍTULO 3. MODELO DE PROPAGACIÓN DE LA SEÑAL TDT

del campo desde Ictocruz en dirección al centro de la ciudad, se puede observar en la imagen que a una distancia de 1 y de 6 km hay una zona donde no hay línea de vista entre Tx y Rx.

En base a la figura 3.1, donde se detallan las parroquias urbanas o usando las

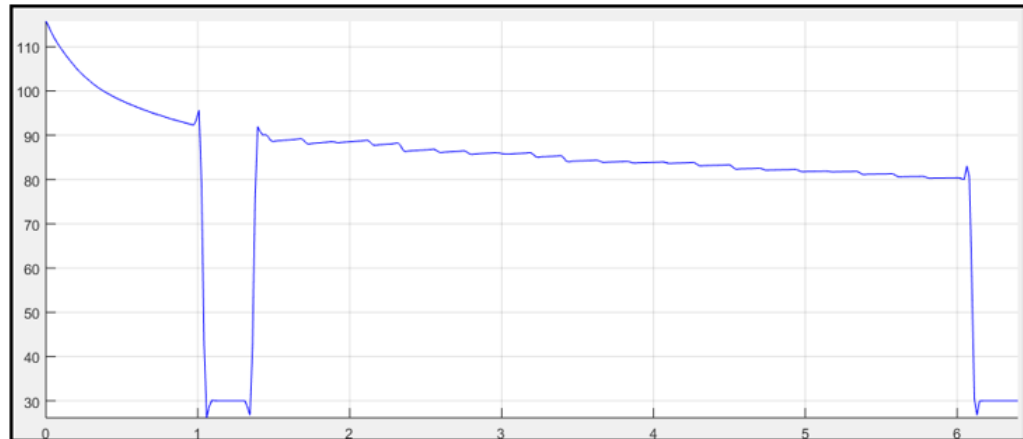


Figura 3.16: Variación de la intensidad de campo $dB(\mu V/m)$ en función de la distancia.

mismas coordenadas de la tabla 3.10, se evalúa el nivel de potencia para un punto en cada parroquia con la finalidad de comparar los niveles en los ráster obtenidos en la simulación. Con el fin de comparar los dos modelos, se añade el porcentaje de diferencia entre el valor obtenido en la recomendación y el valor obtenido usando el modelo de Okumura-Hata, ver tabla 3.11.

El porcentaje promedio de diferencia es del 5.75 %, en el punto 3.3.3 se calculó el porcentaje de diferencia usando para el valor de altura promedio 10 muestras obteniendo un porcentaje de diferencia del 4.5 %, el número de muestras tomadas para la simulación se obtiene cada 30 metros. Por ejemplo, para una distancia de 5 km en el punto 3.3.3 se tomaron 10 muestras y en la simulación se toman alrededor de 166 muestras. Evidentemente cuando se toma un número mayor de muestras es decir la resolución del ráster es mejor se obtiene una mejor predicción del área de cobertura.

Existe una ventaja clara del modelo de la recomendación de la ITU-R P.1546 con respecto al de Okumura-Hata, ver las figuras 3.16 y 3.2. De acuerdo con el modelo de Okumura-Hata para casi todos los puntos de Cuenca urbana, suburbana y rural tienen niveles de potencia superiores a los mínimos establecidos en

Parroquia	Campo ITU dB(uV/m)	Campo Okumura dB(uV/m)	% de Diferencia
San Sebastián	79,598	82,327	3,315
El Batán	79,087	81,411	2,855
Yanuncay	76,899	78,495	2,034
Bellavista	80,629	83,827	3,815
Gil Ramírez Dávalos	81,729	85,060	3,916
El Sagrario	82,450	86,545	4,732
San Blas	82,086	89,572	6,125
Cañaribamba	85,966	97,351	11,695
Sucre	82,005	86,091	4,7461
Huayna Capac	88,741	95,274	6,857
Hermano Miguel	79,495	82,593	3,751
El Vecino	81,549	85,009	4,070
Totoracocha	82,498	87,175	5,365
Monay	84,120	90,099	6,636
Machángara	79,387	95	16,435

Tabla 3.11: Intensidad de campo para las parroquias urbanas de Cuenca según ITU-R P.1546-5.



CAPÍTULO 3. MODELO DE PROPAGACIÓN DE LA SEÑAL TDT

la norma de TDT para Ecuador. Sin embargo, el modelo de la ITU claramente predice zona de sombra y lugares de Cuenca niveles de potencia por debajo del nivel mínimo establecido para TDT en el Ecuador que según la norma técnica para el servicio de radiodifusión de TDT es de $51 \text{ (dB}(\mu\text{V/m))}$.

Todos los valores obtenidos de acuerdo al modelo de la recomendación de la ITU para TDT simulados para la topografía del cantón Cuenca son menores a los obtenidos de acuerdo al modelo de Okumura-Hata ver tabla 3.7, 3.10 y 3.11. Esto se debe a que la recomendación de la ITU considera pérdidas debidas a la altura de antena receptora móvil que considera alturas de obstáculos cercanos a R_x además de correcciones de diferencia de alturas sobre el nivel del mar entre el R_x y el T_x . En definitiva esto puede considerarse una ventaja de la recomendación de la ITU-R P.1546 sobre el modelo de Okumura-Hata ya que se consideran más parámetros para la predicción del área de cobertura.

UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

Capítulo 4

Mediciones de la señal de propagación

TELECUEENCA y Ecuador TV tienen la concesión y autorización respectivamente para transmitir señales de televisión digital en la ciudad de Cuenca, sin embargo, a través de ARCOTEL se conoció que TELECUENCA no está en operación; y ECUADOR TV esta únicamente en fase de pruebas. Con el objetivo de validar el modelo de propagación a través de mediciones de campo que sean consistentes y avaladas por ARCOTEL, en este capítulo se presentan los resultados correspondientes a mediciones realizadas en Cuenca y en Quito a través de un *Drive Test (DT)*. *Drive Test* es el término utilizado para el procedimiento de medición mediante un vehículo motorizado, generalmente adaptado con equipos necesarios para dicha medición. A partir de ahora se referirá a este término con el nombre de “DT”. En el caso de la ciudad de Cuenca se realizaron mediciones contando con el apoyo logístico de la DIRECCIÓN REGIONAL DEL AUSTRO de ARCOTEL. Para el caso de Quito se utilizaron datos correspondientes a mediciones realizadas por la SUPERTEL en el 2014 y de mediciones en diferentes puntos fijos descritos en el anexo D. Los resultados obtenidos, detalles técnicos y los equipos utilizados se detallan en el memorando ARCOTEL-2015-ITC-C del 19 de mayo del 2015 al que se tuvo acceso [29].

4.1. Recomendaciones de ARCOTEL para mediciones de TDT, y el sistema SACER

Las señales de TDT son de recepción predominante estática, es decir, que para efectuar mediciones de cobertura, estas deben ser de este tipo. Sin embargo, estas mediciones de manera estática consumen mucho tiempo, limitando la cantidad de puntos y zonas en los que se podría registrar mediciones, obteniéndose resultados de poco detalle. Por lo tanto, una opción eficiente es monitorear los niveles de señal a través de un DT [29]. Desde el año 2011 la SUPERTEL, actualmente ARCOTEL, con el objetivo de realizar un control eficiente del espectro radioeléctrico implementó un sistema automático de control del espectro radioeléctrico SACER. Los equipos técnicos del sistema SACER fueron provistos por Rhode & Schwarz.

El sistema SACER está basado en las normativas técnicas y recomendaciones de la ITU con referencia a los manuales de gestión del espectro, de comprobación técnica del espectro y del reglamento de radiocomunicaciones [30]. Este sistema está diseñado para automatizar el servicio de control y monitoreo del espectro radioeléctrico a nivel nacional; facilitando así el cumplimiento de los objetivos institucionales para el desarrollo de las Telecomunicaciones en el País [30].

Entre las principales funciones que realiza el sistema SACER [30]:

- Monitoreo de frecuencias predefinidas.
- Búsqueda de frecuencias que provocan interferencias.
- Búsqueda en rangos de frecuencias permitiendo establecer la frecuencia del inicio, la del fin y el ancho de banda entre los pasos.
- Detección de transmisores ilegales.

4.1.1. Estructura del sistema (SACER)

El sistema está estructurado de tal manera que brindar la posibilidad de controlar de manera remota diversas zonas del país. Para su correcto funcionamiento



CAPÍTULO 4. MEDICIONES DE LA SEÑAL DE PROPAGACIÓN

está compuesto de [30]:

- a) **Centro de control nacional (CCN):** Se trata de un centro de control centralizado operado por un grupo de servidores. Incluye sistemas informáticos y de comunicaciones que ayudan a planificar, supervisar y evaluar la gestión del espectro. Está ubicado en la ciudad de Quito.
- b) **Centro de control alterno (CCA):** Se trata de un respaldo del CCN para cualquier eventualidad. Se encuentra en Cuenca.
- c) **Centros de control regional (CCR):** Son un punto de enlace entre las estaciones de comprobación técnica y el Centro de Control Nacional.
- d) **Estaciones fijas de monitoreo (EF):** Estas estaciones cuentan con antenas de recepción y de radiogoniometría, mástiles telescópicos, sistemas de energía de back up, sistema de comunicaciones y software para su control integrado. Únicamente hay 2 en el país, una está ubicada en Collaloma.
- e) **Estaciones remotas transportables de monitoreo (ERT):** Cumplen funciones de monitoreo de las emisiones radioeléctricas, pero poseen la ventaja de ser fácilmente trasladadas al lugar de operación, se encuentran en Cañar, Loja, Zamora y Macas.
- f) **Estaciones de monitoreo móviles (EM):** Cumplen funciones de monitoreo de las emisiones radioeléctricas. Estas estaciones poseen los mismos equipos asignados a las estaciones remotas transportables pero se encuentran instaladas en un vehículo especialmente preparado para el efecto. La DIRECCIÓN REGIONAL DEL AUSTRO de ARCOTEL dispone de un vehículo para realizar mediciones de cobertura y tomar datos más exactos en puntos geográficos requeridos.

Para la conectividad ARCOTEL cuenta con una red WAN robusta que garantiza la conectividad entre todas las estaciones y los centros de control.



4.1.2. Recomendación para medir la señal de TDT en Cuenca

Actualmente la DIRECCIÓN REGIONAL DEL AUSTRO de ARCOTEL utiliza el sistema SACER para realizar el control del espectro radioeléctrico. Para medir el nivel de potencia de las señales de radio y televisión, en las bandas IV y V, se puede usar la estación móvil [31].

Con respecto a la señal de televisión, durante los últimos años, ARCOTEL realiza mediciones de cobertura, niveles de señal, rangos de bandas de frecuencia. Esto permite medir diversas zonas de la ciudad en un tiempo relativamente corto; la recomendación técnica concreta de ARCOTEL para la medición de una señal de televisión es que se utilice esta estación.

4.2. Drive Test (DT) de señales TDT en la ciudad de Cuenca

Con la ayuda de ARCOTEL, se realizaron pruebas de control del espectro radioeléctrico de la señal de televisión digital que transmite Ecuador TV. Estas pruebas fueron realizadas del 25 de mayo al 1 de junio del 2016 en la ciudad de Cuenca usando la estación de monitoreo móvil (software R&S Broadcast), el centro de control alterno y la estación fija de monitoreo de la DIRECCIÓN REGIONAL DEL AUSTRO de ARCOTEL.

Se realizaron dos DT en la ciudad además de una inspección técnica a las instalaciones de Ecuador TV para la verificación de equipos.

4.2.1. Objetivo del DT

Las mediciones se realizaron con la finalidad de evaluar la cobertura de la estación de TDT de Ecuador TV en Cuenca, teniendo como parámetro de medida la intensidad de campo radioeléctrico en un determinado punto referenciado

geográficamente por GPS.

4.2.2. Consideraciones

Las pruebas técnicas se realizaron en diferentes puntos de la ciudad de Cuenca. Estos puntos fueron considerados en base a la experiencia y a las zonas en donde ARCOTEL normalmente realiza mediciones de cobertura de las señales de televisión [31].

Las pruebas se efectuaron en coordinación con el equipo técnico de Ecuador TV. Se consideraron dos tipos de mediciones: una, con una antena de recepción con polarización horizontal, y otra, con polarización vertical. Las medidas fueron de carácter dinámicas realizadas utilizando la estación de monitoreo móvil a través de un vehículo en movimiento, con una altura de la antena de 3 m, por diferentes zonas de la ciudad (ver figura 4.1).



Figura 4.1: Estación móvil de monitoreo.

Las antenas del equipo receptor están ubicadas en la parte posterior de la estación móvil de monitoreo, ver figura 4.1.

4.2.3. Frecuencia de la señal medida

Las señales monitoreadas están definidas con el estándar ISDB-Tb y sujeto a la normativa vigente para TDT en el Ecuador. El canal que se midió corresponde al canal físico 47 de la banda V, de acuerdo con la figura 2.1 y a la canalización de frecuencias establecidas en [18]. Los rangos de frecuencias son los indicados en la tabla 4.1.

Frecuencia inicial (MHz)	Frecuencia central (MHz)	Frecuencia final (MHz)
668	$671+1/7$	674

Tabla 4.1: Canalización de bandas de frecuencia canal físico 47.

La banda correspondiente al canal físico 48 es la de ciudadano TV que es analógico. Las diferencias entre los dos tipos de canales se pueden visualizar utilizando la estación fija de monitoreo de ARCOTEL. El espectro correspondiente al canal 47 (señal digital) inicia en 668 MHz y termina en 674 MHz; la señal, a partir de esta última frecuencia, corresponde al canal 48 (analógico), ver en la figura 4.2.

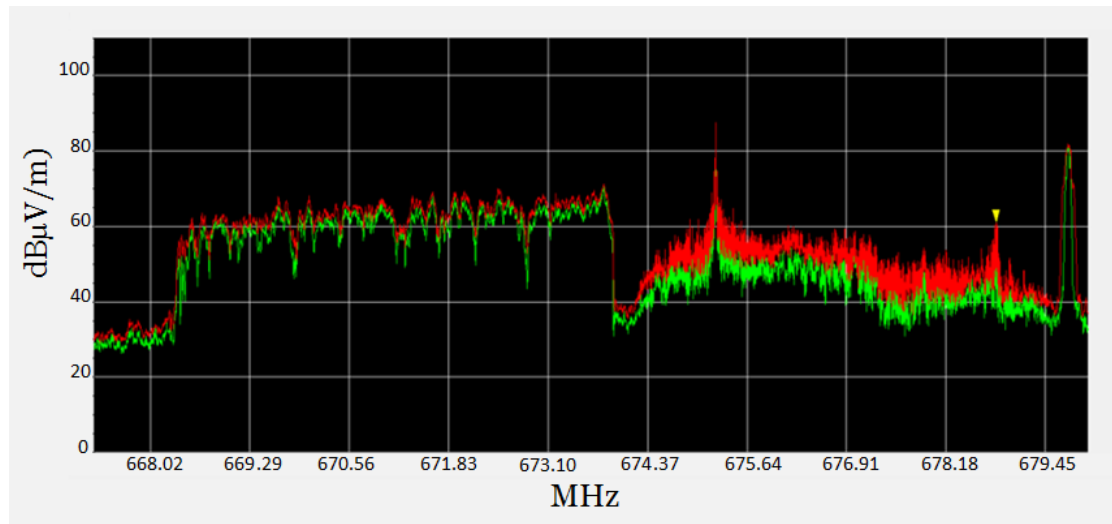


Figura 4.2: Mediciones de bandas de frecuencia de los canales físicos 47 y 48.

En la parte derecha de la imagen se observa el espectro de un canal analógico

CAPÍTULO 4. MEDICIONES DE LA SEÑAL DE PROPAGACIÓN

de TV claramente se ven dos picos correspondientes a las señales de audio y video, en cambio en el canal digital el espectro es continuo (2.3) de acuerdo al estándar ISBT-b (ver figura 4.2).

La frecuencia central del canal digital 47 es de 671.1428 MHz, pero la medición se realizó en un ancho de banda de 6 MHz que corresponde al canal.

4.2.4. Características técnicas del sistema de transmisión

Con el objetivo de conocer las características técnicas de los equipos de transmisión se realizó una inspección técnica a la estación de Ecuador TV ubicada en Icto Cruz. Esta inspección permitió obtener las características descritas en la figura 4.3.

Como se detalla en el diagrama de bloques (figura 4.3), la señal de Ecuador TV

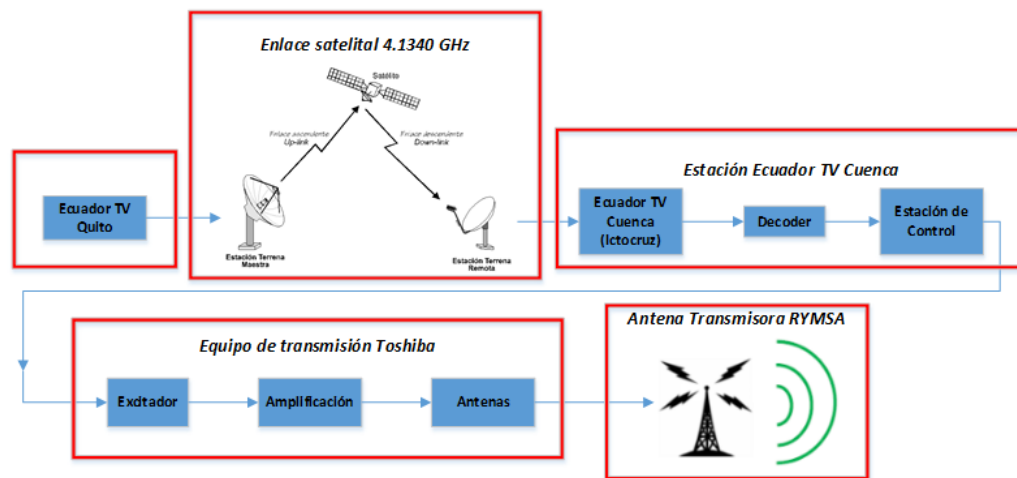


Figura 4.3: Diagrama general del sistema de transmisión de TDT de Ecuador TV en Cuenca. Fuente: Ecuador TV.

es transmitida vía satélite desde Quito, el transmisor que se ocupa es de marca Haris, el decodificador de la señal que llega al satélite ubicado en Ictocruz es un SD MPEG-2 Decoder, la frecuencia de transmisión es de 4,1340 GHz. La marca del equipo de transmisión es Toshiba; este contiene un excitador y cuatros amplificadores que están conectados a dos paneles tipo dipolo (ver anexo E).

Con respecto al soporte de los paneles se utiliza una torre metálica cuadrada de

6 metros de lado en la base, con una altura de 54 metros (ver figura 4.4).

El arreglo de dos paneles para transmisión de TDT de la estación Ecuador TV

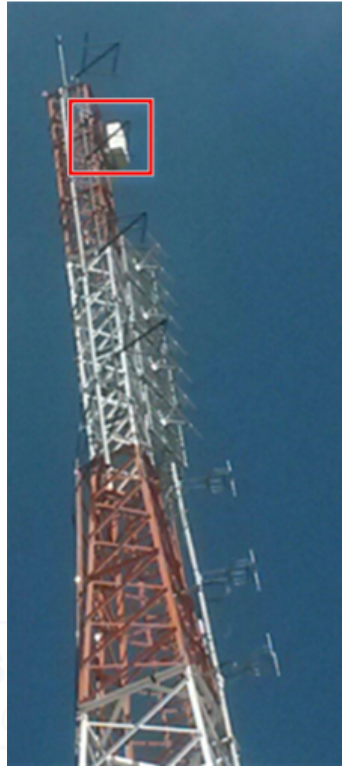


Figura 4.4: Torre de la antena de ECUADOR TV.

está ubicado en la parte superior, a 54 metros de altura (ver figura 4.4). Las características técnicas del arreglo de antenas se detallan en la tabla 4.2.

Las características eléctricas con más detalle, además del patrón de radiación, y la data técnica de las antenas se especifican en el anexo E.

4.2.5. Características técnicas del equipo de recepción

La estación móvil consta de diferentes tipos de antenas de recepción de señales de radiofrecuencia. Para el caso del DT realizado en la ciudad, se utilizaron dos antenas: la de polarización vertical, modelo HE 500, y la de polarización horizontal, modelo ADC 2300 (ver figura 4.5).

CAPÍTULO 4. MEDICIONES DE LA SEÑAL DE PROPAGACIÓN

Marca	RYMSA RF
Canal comercial	47
Latitud	2°55'50,29" S
Longitud	78°59'51,57" O
Frecuencia central	671,1428 MHz
Potencia	200 W
Ganancia	8.7 dBd
Tipo de antena	dipolos
Paneles	2 paneles UHF
MER	27 dB
Azimut	30° y 300°
Intervalo de guarda	1/16
Modulación	QPSK y 64QAM
Atura TX (msnm)	2829
Pérdidas	2 dB
Tilt	0
Altura de la torre	54 m
Canal normativo	47

Tabla 4.2: Características del transmisor de ECUADOR TV (fuente: ECUADOR TV).

Para las pruebas técnicas realizadas con ARCOTEL, para la medición de la señal de televisión se utilizaron los datos obtenidos en la antena receptora de polarización vertical [31], debido a que la polarización de la antena transmisora es vertical y, por lo tanto, no tener pérdidas adicionales en el receptor. Además de las antenas el equipo técnico de recepción de señal está constituido por un GPS, un DDF y un software de análisis de señal. Los detalles se exponen en la tabla 4.3.

El software R&S Broadcast Drive Test indica automáticamente la velocidad máxima a la que la estación móvil puede trasladarse. Para la antena de polarización horizontal, la velocidad no excedió los 40 Km/h mientras que para la polarización vertical no se excedió los 60 Km/h .

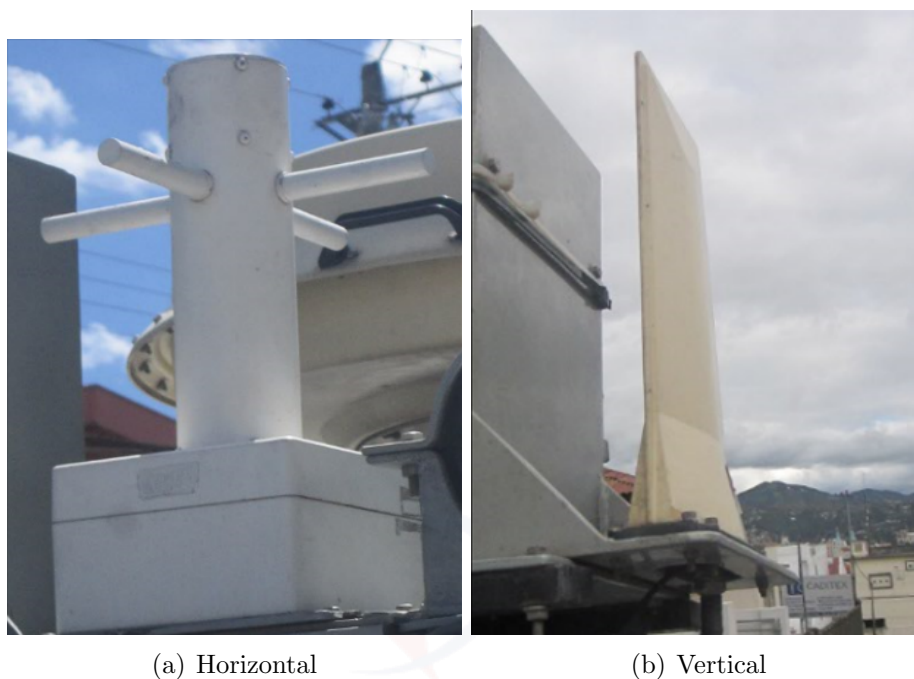


Figura 4.5: Tipo de antenas utilizadas en la estación móvil.

4.2.6. Resultados del drive test en Cuenca

El DT y la inspección de la estación transmisora se realizaron en la ciudad de Cuenca los días 25, 26 y 30 de mayo del 2016. Los valores de mediciones se puede analizar de diferentes maneras. Por ejemplo, el software permite generar una interfaz con Google Earth obteniendo la ruta que se siguió y los niveles de campo registrados con la referencia geográfica correspondiente (ver figura 4.6).

Para cada coordenada en la ruta se pueden obtener dos mediciones de campo, una mínima y otra máxima, además de la fecha y la hora de registro de la muestra como se indica en la figura 4.7. Cabe mencionar que las mediciones se realizaron tanto con la antena receptora de polarización vertical como horizontal, siendo la primera utilizada en el análisis posterior debido a demasiadas pérdidas en la segunda.

La ruta fue definida tomando como referencia la cobertura de las estaciones de

Software de monitoreo	R&S Broadcast Drive Test
Analizador de televisión digital	R&S ETH
GPS	Garmin
Antena activa	ARA modelo HE 500(Vertical)
Impedancia	50 Ohmios
Ganancia	15dBi
Altura	3 m instalada en el mástil sin elevación
Velocidad de desplazamiento del vehículo	≤ 60 km/h

Tabla 4.3: Características del receptor de ECUADOR TV (fuente: ARCOTEL).

televisión analógica de Cuenca (ver figura 4.6). Debido a la obra civil del tranvía que se estuvo ejecutando en Cuenca, se tuvieron que realizar leves modificaciones a la ruta recomendada por ARCOTEL [31].

4.2.7. Obtención de datos del *drive test* en Cuenca

Además de la interfaz con Google Earth, el software permite obtener archivos en Excel con todas las muestras registradas durante el DT. Los datos que se pueden obtener son la fecha y hora, la frecuencia, la intensidad de campo, las coordenadas geográficas y la altitud en m.s.n.m¹ (ver tabla 4.4).

Tiempo	Frecuencia	Level	Longitud	Latitud	Altitud
Fecha + Hora	Mhz	$dB\mu V/m$	Longitud	Latitud	m.s.n.m.
39:30,7	671	72,9	079°00'08,7" W	02°53'21,6" S	2602,3

Tabla 4.4: Formato del archivo en Excel que contiene todas las muestras del DT Cuenca.

Se tomaron un total de 6244 muestras con la antena de recepción de polarización vertical, y un total de 8415 muestras con la antena de recepción de polarización horizontal, la variación de la cantidad de muestras depende únicamente

¹Metros sobre el nivel del mar

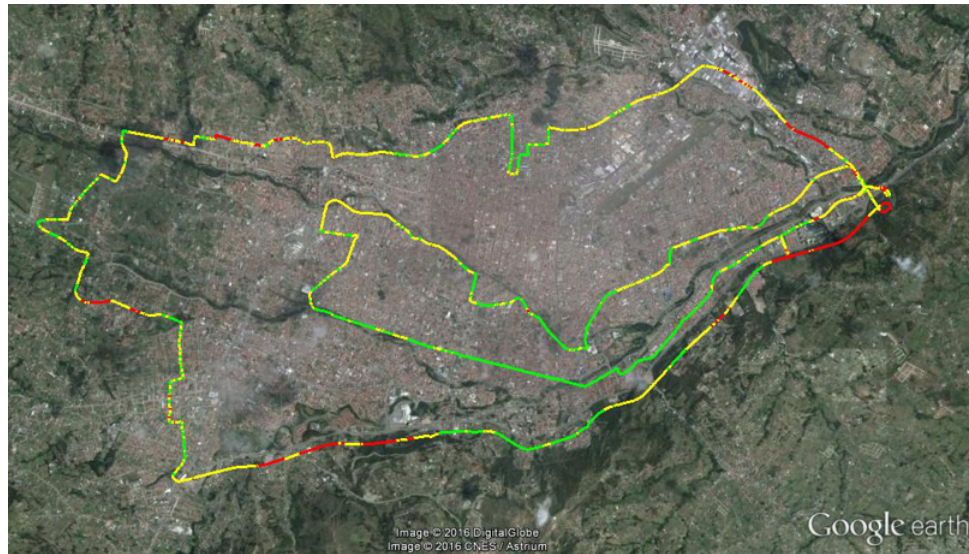


Figura 4.6: Ruta seguida en el DT Cuenca.

de que el trayecto fue más extenso en el segundo caso. Debido a las dificultades técnicas que presenta la antena receptora con polarización horizontal, se analizó únicamente con la antena de polarización vertical. Las mediciones con las cuales se harán los análisis estadísticos se encuentran en el apéndice [G](#).

4.3. Mediciones de TDT en Quito: informe de pruebas técnicas en la ciudad de Quito

4.3.1. Objetivos de las mediciones

Las pruebas de TDT fueron realizadas luego de que el Ecuador adoptara el estándar ISDB-Tb con la finalidad de evaluar la calidad de la señal de las estaciones de TDT que operan en las ciudades de Quito (9 Estaciones) y Guayaquil (9 Estaciones). En las pruebas se variaron parámetros como la potencia, modulación, velocidad de bit e intervalo de guarda. Debido a que las estaciones de Quito habían superado la etapa de pruebas y contaban con instalaciones definitivas, las mediciones realizadas por la entonces Superintendencia de Telecomunicaciones



Figura 4.7: Obtención de valores de intensidad de campo para una coordenada.

fueron validadas y tienen el carácter de ser mediciones oficiales y son aceptadas por ARCOTEL. Por lo tanto, se utilizaron estos datos oficiales para la validación del modelo propuesto en el presente trabajo, para luego aplicarlo en Cuenca, sabiendo de antemano que las dos ciudades comparten características propias de los andes ecuatorianos.

El equipo usado para las mediciones en Quito fue una estación móvil del sistema SACER para la medición de señales de TDT [29].

4.3.2. Consideraciones

Las pruebas en Quito incluyeron un DT, además de mediciones en 12 puntos de la ciudad. Estos puntos fueron elegidos por la SUPERTTEL con base en su experiencia, al conocer la ubicación de sombra [32].

Con la finalidad de realizar un análisis específico, en el presente trabajo se utilizaron las mediciones del canal físico número 45 recomendada por ARCOTEL correspondiente a la frecuencia de 659,1428 MHz. En la tabla 4.5, se detallan los parámetros considerados para las pruebas.

Potencia	Modulacion	Intervalo de Guarda	Tasa de Código Convolutional	Tasa Total de Datos para 13 Segmentos (Mbps)
500	64 QAM	1/8	2/3	16,227
			3/4	18,225
		1/16	2/3	17,181
			3/4	19,329
1500	64 QAM	1/8	2/3	16,227
			3/4	18,225
		1/16	2/3	17,181
			3/4	19,329
3000	64 QAM	1/8	2/3	16,227
			3/4	18,225
		1/16	2/3	17,181
			3/4	19,329

Tabla 4.5: Combinación de parámetros técnicos para operación de transmisores.

4.3.3. Frecuencia de la señal medida

Para realizar el DT se utilizó la señal transmitida por CANAL UNO a través de una antena de dos arreglos de tres paneles para la banda UHF, de acuerdo con la norma técnica para TDT vigente en el Ecuador se establece que la frecuencia inicial es de 656 MHz y la final de 662 MHz (ver figura 4.8).

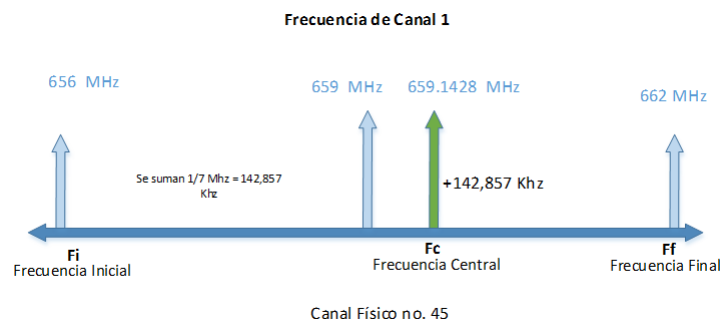


Figura 4.8: Banda de frecuencia que opera CANAL UNO.

De acuerdo con la “NORMA TÉCNICA PARA EL SERVICIO DE RADIO-DIFUSIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE” vigente en el país para

la transmisión, hay un desplazamiento de 1/7 MHz de la frecuencia central por lo que en teoría la frecuencia de transmisión sería de 659,1428 MHz. A través del software R&S Broadcast Drive Test avalado por ARCOTEL se pudo verificar que efectivamente la señal de TDT de CANAL UNO se transmite en esta banda, ver anexo B.1.

4.3.4. Características técnicas de los sistemas de transmisión y recepción

SUPERTEL realizó las mediciones el 15 de agosto del 2014. El sistema radiante de CANAL UNO cuenta con un arreglo de dipolos de seis paneles con las características detalladas en la tabla 4.6.

Marca	RYMSA RF
Canal Comercial	Canal 1
Latitud	00°10'04,4''S
Longitud	−78°31'29,6''W
Frecuencia	659,1428 MHz
Potencia	2150
Ganancia	11,75 dBi
Tipo de Antena	Arreglo de Dipolos
Paneles	2 Arreglos de 3 paneles UHF
MER	27 dB
Azimuth	65 y 155
Intervalo de Guarda	1/16
Modulacion	QPSK y 64 QAM
Altura Tx m.s.n.m.	3855,25 m
Perdidas	2 dB
Tilt	7,5
Altura en la torre autosoportada	70 m
Canal de Acuerdo a la Norma	45

Tabla 4.6: Características del transmisor de CANAL UNO (fuente: ARCOTEL).

El patrón de radiación de la antena se detalla en la ficha del anexo C.2. Las características del equipo de recepción se detallan en la tabla 4.7.

Software de Monitoreo	R&S Broadcast Driver Test
Digital TV Analyzer	R&S ETH
GPS	Garmin
Antena Activa	ARA Modelo ADC2300
Impedancia	50 Ohms
Ganancia	15 dBi
Altura	3 m Instalada en el mástil
Velocidad de Desplazamiento	<40 Km/h

Tabla 4.7: Características del receptor de CANAL UNO (fuente: ARCOTEL).

4.3.5. Resultados del *drive test*

Los equipos usados en las pruebas del DT consistieron de: un analizador de TDT (ETH), un GPS y una antena de prueba UHF, dispuestos en la estación móvil del sistema SACER. Se adquirieron 5461 muestras de la señal de TDT. Estas muestras contienen datos como la intensidad de campo recibida, tasa de error de bit y zonas donde la recepción móvil no ha sido posible.

El equipo de ETH dispone de un módulo para DT el cual permite obtener medidas similares a las descritas en la sección anterior, además de mediciones propias de señales digitales como MER. Debido a que existen más datos a recolectar en una señal digital, la velocidad de la estación móvil no pudo exceder a 30 Km/h².

En base a la experiencia con televisión analógica por parte de la SUPERTEL, la ruta fue definida tomando como referencia la cobertura de las estaciones de televisión analógica de Quito (ver figura 4.9).

Se determinó que la intensidad de campo eléctrico para proteger al borde de área de cobertura es de $51 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ según el informe oficial detallado en [29]. Para un valor de potencia de 2150 W, con ganancia de 11,75 dBi y una frecuencia de 659,1428 MHz; el valor promedio de potencia es de $64,88 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ o $-56,95 \text{ dBm}$ (ver tabla 4.8). Este valor está por encima del mínimo establecido de $51 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$.

²Para la ciudad de Cuenca no se contaba con un ETH por lo que la velocidad pudo ser mayor a 30 Km/h

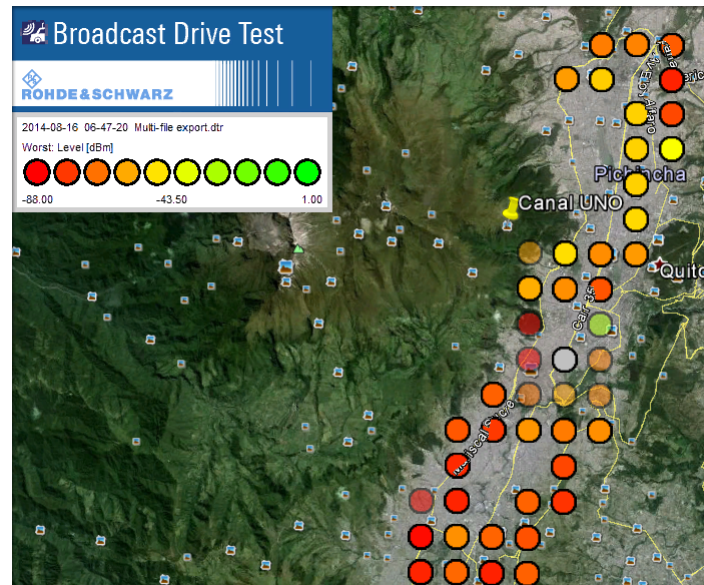


Figura 4.9: Zona de mediciones del DT.

Unidades	Mínimo	Promedio	Máximo	Ref
dB(uV/m)	34,44	64,88	95,34	51
dBm	-87,4	-56,95	-26,5	-70,84

Tabla 4.8: Valores del DT.

4.3.6. Zonas de bajo nivel de señal

El DT realizado permitió evaluar las zonas de sombra, donde los niveles de señal resultaron bajos, o en su defecto no había señal. Las zonas en donde se detectaron bajos niveles de señal fueron:

- Sur Occidente: La Mascota-Chillo Gallo.
- Centro Histórico
- Av. 5 de junio: Sector posterior del Panecillo
- Antigua Av. Oriental: Parte posterior del parque Itchimbia.

Con la finalidad de evaluar la calidad de la señal de TDT, el equipo técnico de la entonces SUPERTEL realizó algunos parámetros. Dichos parámetros fueron potencia del transmisor, altura de la antena de recepción, FEC e intervalo de guarda; para luego evaluar nuevamente los niveles de intensidad de campo.

4.3.7. Mediciones en puntos fijos

Existen zonas específicas en donde la intensidad de campo requiere una atención especial. Estas zonas son conocidas por el personal de ARCOTEL por caracterizarse de tener bajos niveles de cobertura, o simplemente, no tener cobertura. SUPERTEL realizó mediciones en 12 puntos en la ciudad de Quito. Los valores correspondientes a las coordenadas geográficas de los puntos medidos se detallan en el anexo D.1. Para esta condición, se analizaron un total de 648 muestras, determinando valores promedios de las mediciones para cada punto fijo. En cada medición se obtuvieron valores con mayor valor de potencia de recepción y mayor tasa de error de modulación; estos valores se detallan en la tabla 4.9.

# muestra	Punto	Max. Power dBm	IG	FEC	Max. MER dB	IG	FEC
1	Mena de Hierro	53,12	1/8	3/4	26,50	1/8	2/3
2	La Bota	64,80	1/8	3/4	18,84	1/8	3/4
3	Jipijapa	42,40	1/8	2/3	33,20	1/16	2/3
4	Primavera Alta	43,06	1/8	3/4	26,80	1/8	2/3
5	San Sebastián	59,27	1/8	3/4	25,74	1/8	2/3
6	Las Orquídeas	50,49	1/8	3/4	25,90	1/8	2/3
7	La Ronda	54,25	1/8	3/4	28,45	1/16	2/3
8	San Jose de Chilibulo	62,39	1/8	3/4	21,40	1/16	2/3
9	La Mena	67,91	1/8	3/4	20,97	1/16	2/3
10	Balcon del Valle	50,79	1/8	3/4	31,20	1/8	2/3
11	Chillogallo	62,94	1/8	2/3	22,33	1/16	2/3
12	Nuevo Amanecer	63,56	1/8	3/4	22,83	1/16	2/3

Tabla 4.9: Resultados de mediciones en puntos fijos, Quito.

En conclusión, se cuenta con dos bases de datos. La una correspondiente a mediciones registradas en la ciudad de Cuenca y la otra proporcionada por

ARCOTEL con información sobre el área de cobertura de TDT en la ciudad de Quito, niveles de intensidad de campo, zonas de sombra que permiten la validación o ajuste de un modelo determinado basados en mediciones de campo.

4.3.8. Obtención de datos del drive test

ARCOTEL proporcionó los resultados del DT, con un total de 5461 valores de intensidad de campo eléctrico georeferenciados y visualizados Google Earth. Con los datos se estructuró una base de datos con la siguiente información:

- **Muestra:** Número de muestra
- **A/Mes/Día/Hora/Minutos/Segundos/:** Fecha y hora exacta en la que se registró la muestra.
- **Estado:** Estado de la muestra con respecto a la atenuación. Sin error o con atenuación.
- **Ajuste GPS:** Validación de los datos del GPS coordenadas geográficas WGS84.
- **Longitud GPS:** Longitud en grados.
- **Latitud GPS:** Latitud en grados.
- **Velocidad [km/h]:** Velocidad de vehículo.
- **Nivel[dBm]:** Nivel de potencia.

Capítulo 5

Planteamiento del modelo ajustado

En este capítulo se describe el procesamiento realizado sobre datos de mediciones de señales TDT obtenidos en el DT y las mediciones en puntos fijos, esto para las ciudades de Quito y Cuenca. Además del procesamiento de datos, se calcula el error de predicción para los modelos analizados. Luego, se plantean ajustes del modelo, con el fin de mejorar las predicciones en relación a las mediciones de campo. Para el tratamiento de los datos se utiliza el análisis cuantitativo principalmente; sin embargo, también se realiza algunas consideraciones cualitativas [18].

5.1. Depuración de datos

Con la finalidad de buscar inconsistencias que pudieran ocasionar que aparezcan registros duplicados, incorrectos o sin referencia geográfica, se realiza una depuración inicial eliminando los datos atípicos que no arrojan ningún tipo de información y únicamente son errores que se producen al momento de registrar las mediciones [18].

Los archivos proporcionados por ARCOTEL contienen datos no depurados, pues incluyen datos inválidos. Se necesita trabajar con datos depurados. Por ejemplo, se encontraron valores para los cuales no existen coordenadas geográficas, por lo que no se puede ubicar geográficamente el punto de medición (ver tabla 5.1). Este tipo de muestras son las primeras en ser procesadas.

Sample	Year	Month	Status	Fix	Latitude	Longitude	Speed	Level(dBm)
103	2014	8	No Error	0	—	—	—	-77,50

Tabla 5.1: Muestra sin valores de latitud ni longitud GPS fix=0.

Otra depuración que se aplicó fue para registros sin valores de campo medido, lo que se traduce en la imposibilidad de comparar con una referencia. Para el efecto se trabajó en una hoja de cálculo de Excel obteniendo 3.917 muestras válidas para su comprobación con la predicción.

5.2. Rasterización de los datos medidos

En la sección 2.6.4 se describieron las características de un ráster, siendo una de las principales la representación de magnitudes continuas a través de un modelo MDT en donde cada celda corresponde a un valor de altura. Entonces, en un modelo rasterizado de mediciones de campo, en lugar de alturas, se registró valores de campo medido o calculado.

Se desarrolló un algoritmo basado en las coordenadas de referencia, latitud y longitud, para obtener un ráster con los niveles de potencia obtenidos a través del DT realizado en Quito y en Cuenca. Utilizando Matlab se capturaron los datos de Excel, que contiene un total de 3.914 muestras de nivel de potencia en dBm para Quito $dB(\mu V/m)$ y 4.417 muestras para Cuenca (ver figura 5.1).

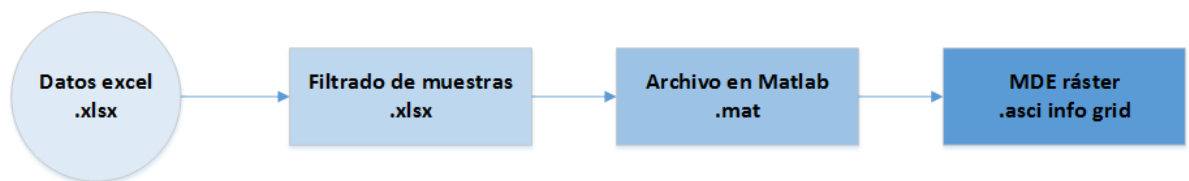


Figura 5.1: Proceso de filtrado de las mediciones.

A través de la enumeración exhaustiva y haciendo referencia a los valores de latitud y longitud, se forma en un ráster con formato ARC/INFO GRID con

dimensiones que abarquen toda la zona urbana de Quito y el área de cobertura de televisión definida en [32]. Las características de los rásters obtenidos se detallan en la tabla 5.2.

Formato	ARC/INFO Grid	ARC/INFO Grid
Ciudad)	Quito	Cuenca
Límite Superior Izquierdo	-0,0896; -78,5640	-2,815; -79,115
Límite Inferior Derecho	-0,3035; -78,4501	-2,941; -78,879
Resolución de Pixel	30 m	30 m
Area	312 Km^2	364 Km^2

Tabla 5.2: Características del ráster para la ciudad de Quito.

Se obtuvo un ráster con las muestras (ver figura 5.2) a partir de las mediciones del DT (ver figura 4.9).

A través de RadiUC, se puede verificar que los puntos del archivo ráster corresponden a los valores de la nivel de potencia obtenidos en las mediciones del DT. El archivo obtenido tiene un valor de potencia para cada punto referenciado con latitud y longitud en donde se registraron en las mediciones. Para los puntos restantes del ráster se asigna un valor por defecto de -100 dBm.

Se realizó igual tratamiento a los datos obtenidos en Cuenca. En la figura 5.3 se visualizan los datos medidos en la subfigura a) la interfaz con Google Earth del software de monitoreo, y en la subfigura b) la rasterización de los datos usando un algoritmo desarrollado en Matlab.

5.3. Simulación con los modelos ITU-R P.1546-5 y Okumura-Hata para Quito

En la sección 3.4.4 se realizó una simulación con los modelos desarrollados para la ciudad de Quito. Los modelos desarrollados en Matlab se aplicaron para la ciudad de Quito basándose en los datos técnicos de la tabla 4.6. El MDE que se utiliza es el correspondiente a Quito con coordenadas límites y resolución des-

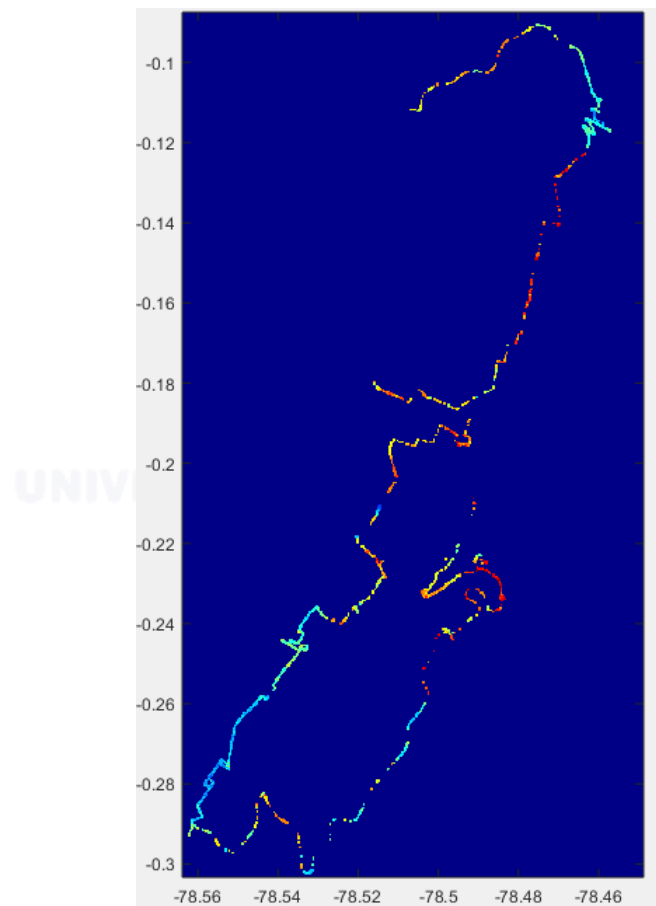
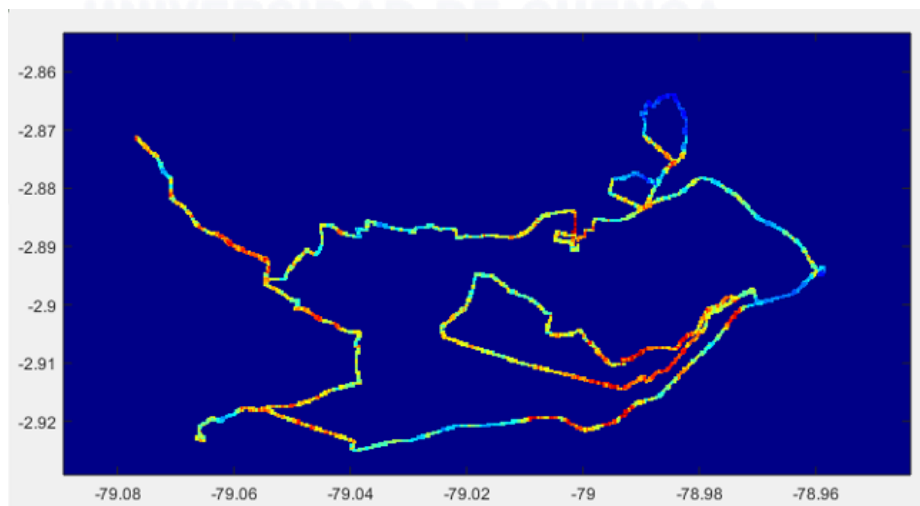


Figura 5.2: Ráster de las mediciones para Quito. Fuente: ARCOTEL.

CAPÍTULO 5. PLANTEAMIENTO DEL MODELO AJUSTADO



(a) Google Earth



(b) Matlab

Figura 5.3: Archivo de rasterización de la base de datos para Cuenca.

critos en la tabla 5.1, con una dimensión de 24 km de ancho por 13 km de largo. Luego de efectuar las simulaciones en RadiUC se obtuvieron las predicciones de nivel de potencia para la ciudad de Quito, ver figura 5.4.

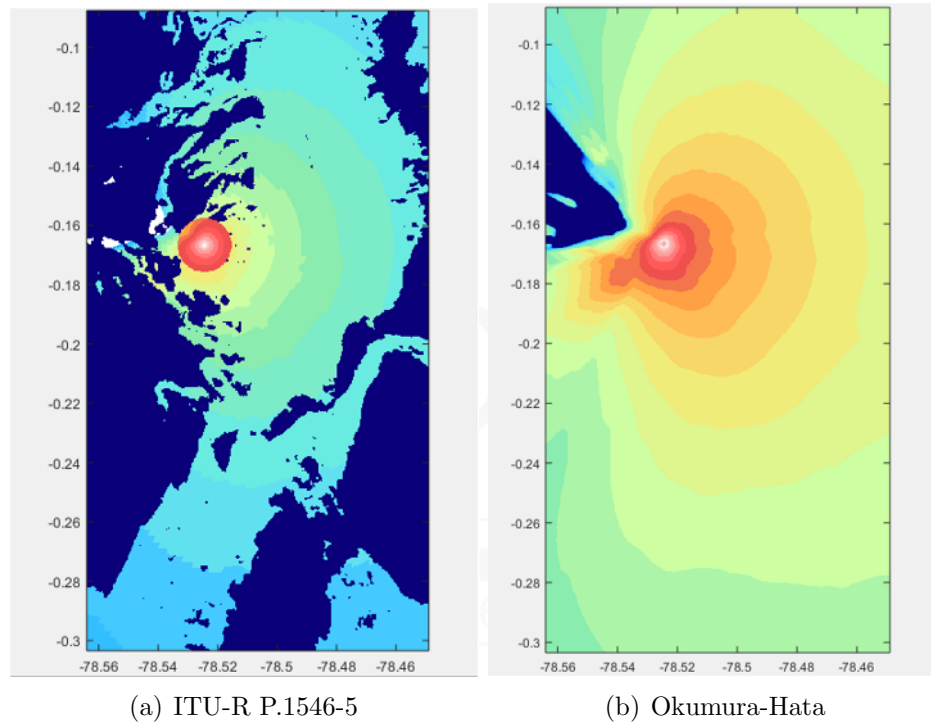


Figura 5.4: Predicciones iniciales para la ciudad de Quito.

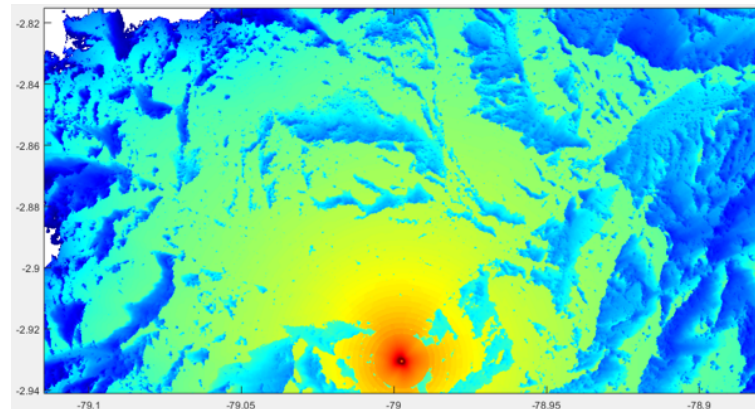
Se realizaron 12 simulaciones para diferentes escenarios considerando un área suburbana, urbana y densamente urbana además de diferentes valores de altura de la antena receptora.

5.4. Simulación con los modelos ITU-R P.1546-5 y Okumura-Hata para Cuenca

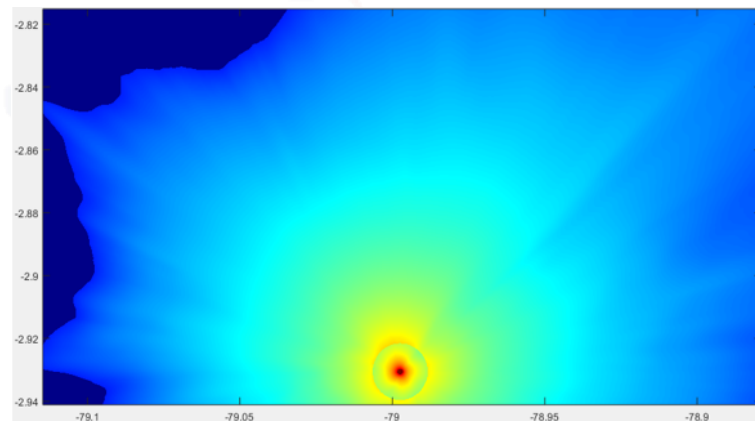
De manera similar se realizaron simulaciones para la ciudad de Cuenca utilizando las características técnicas de los equipos de transmisión de la estación de Ecuador TV descritos en la sección 4.2.4. Los valores de la predicción se compa-

CAPÍTULO 5. PLANTEAMIENTO DEL MODELO AJUSTADO

ran con los valores medidos en el DT realizado con el sistema SACER. En la simulación se utiliza el MDE correspondiente a la zona de Cuenca y los datos técnicos de la tabla 4.2.



(a) ITU-R P.1546-5



(b) Okumura-Hata

Figura 5.5: Predicciones iniciales para la ciudad de Cuenca.

Se efectuaron varias simulaciones, con variaciones descritas en la tabla 5.3. Por ejemplo, para un entorno suburbano con una altura de antena receptora de 3 m y datos técnicos detallados en la sección 4.2.4 se obtiene el resultado de la figura 5.5.

5.5. Estimación del error para simulaciones en Quito

En esta sección se presenta un análisis del error obtenido de las predicciones realizadas con la aplicación de los modelos ITU-R P.1546-5 y Okumura-Hata con respecto a las mediciones de campo obtenidas en el sistema SACER. El análisis se realiza en dos partes con la finalidad de obtener mejores resultados.

5.5.1. Error en zonas donde hay línea de vista

Se evalúa el error para diferentes escenarios entre los resultados de la predicción y los datos medidos que fueron rasterizados (ver figura 5.4). De 3.914 muestras válidas para Quito, se seleccionan las muestras correspondientes a zonas en donde hay línea de vista directa entre transmisor y receptor. El número total de muestras evaluadas es de 2.581 que representan el 66 % del total de muestras válidas. El error se analizó de la siguiente manera:

a) Media Aritmética

La media aritmética de los valores de potencia medidos es de -51,27 dBm. Además se obtuvo la diferencia de potencia en cada punto, a fin de hallar la diferencia media entre predicciones y mediciones.

En la tabla 5.3 se comparan los resultados de simulaciones y datos medidos. De los resultados presentados en la tabla 5.3 se puede verificar que para una altura del receptor de 3 metros y una zona suburbana con una altura promedio de obstáculos de $R_2=10$ m existe una diferencia entre los valores medios de potencia de 0,29 dBm con respecto a la recomendación ITU-R P.1546-5 (ITU), y una diferencia de 3,55 dBm para al modelo de Okumura-Hata (OH). Las diferencias para cada escenario se detallan en la 5.3.

CAPÍTULO 5. PLANTEAMIENTO DEL MODELO AJUSTADO

Terreno	Altura Rx (m)	Media ITU (dBm)	Media OH (dBm)	Diferencia DT-PR (dBm)	Diferencia DT-OH (dBm)	Media de Diferencia DT-PR (dBm)	Diferencia Media DT-OH (dBm)
Suburbano R2=10 m	10	-32,78	-30,91	18,48	20,35	18,67	20,41
Urbano R2=20 m	10	-51,25	-30,46	0,02	20,35	8,9	20,85
Densamente Urbano R2=30 m	10	-58,23	-30,91	6,96	20,35	10,25	20,41
Suburbano R2=10 m	3	-50,98	-47,72	0,29	3,55	10,75	9,10
Urbano R2=20 m	3	-59,27	-47,71	8	3,56	11,36	9,10
Densamente Urbano R2=30 m	3	-62,88	-47,07	11,61	4,2	13,23	9,10
Media DT	-51,27 dBm						

Tabla 5.3: Comparación entre el DT (DT) y las predicciones (ITU y Okumura-Hata).

La recomendación ITU-R P.1546-5 y el modelo Okumura-Hata para un entorno suburbano con una altura de antena receptora de 3 metros son los que más se acercan en promedio a las mediciones validadas por ARCOTEL. Esta última afirmación se basa en la consistencia entre la configuración de parámetros para las simulaciones y los valores obtenidos que se presentan en la tabla 5.3. Sin embargo, la evaluación de la media aritmética de los errores y el promedio de nivel de potencia no es suficiente para definir qué modelo se aproxima mejor a las mediciones de campo.

b) Distribución de frecuencias

Consiste en la clasificación de los valores observados en una variable de acuerdo con su magnitud numérica. Permite identificar la forma en que están distribuidos los puntos o características [33].

Se analiza la distribución de potencia y de error a través de histogramas de

frecuencias. En la figura 5.6 se graficó la frecuencia de los niveles de potencia.

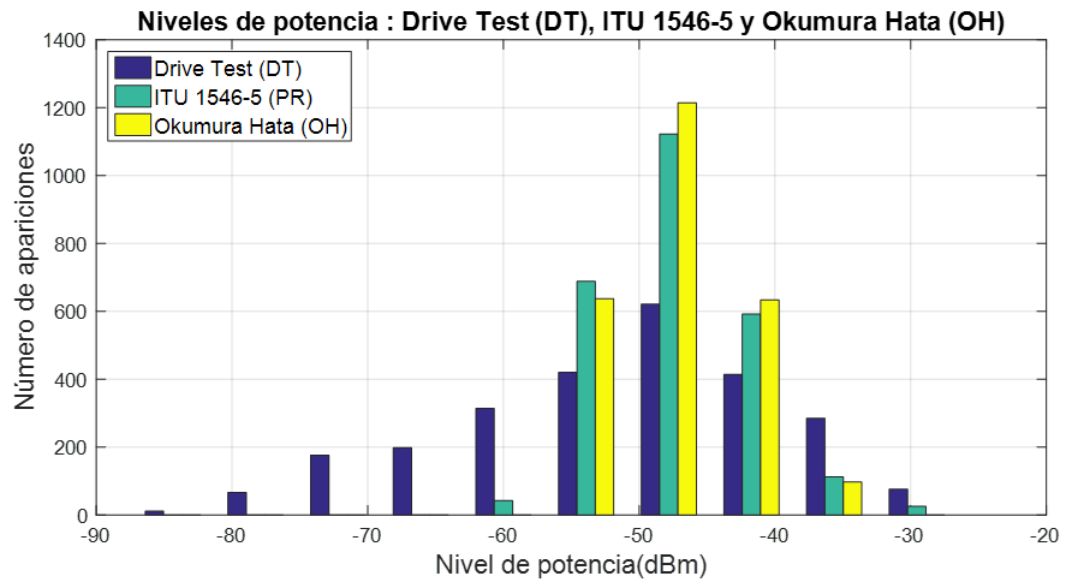


Figura 5.6: Apariciones de los niveles de potencia del Drive Test (DT), recomendación ITU-R P.1546-5 (PR), y modelo Okumura-Hata (OH).

Con respecto a la categoría de las variables presentadas en el histograma de la figura 5.6, se establece que los registros corresponden a niveles de potencia en dBm para medidas de campo, predicción de nivel de potencia de acuerdo a la recomendación ITU-R P.1546-5 (PR) y predicción de nivel de potencia de acuerdo al modelo Okumura-Hata (OH). Estos modelos se estimaron de acuerdo al procedimiento descrito en la sección 3.3.

Las medidas de tendencia central del DT y de las predicciones están en -50 dBm . El valor de tendencia central o moda más aproximado al DT es el de la recomendación ITU-R P.1546-5. En cuanto a la distribución de potencia y el número de apariciones, la recomendación ITU-R P.1546-5 tiene mayor similitud con respecto al DT que el modelo Okumura-Hata como se puede evidenciar con la figura 5.6.

Con respecto al histograma de diferencias absolutas en dB (ver figura 5.7),

la tendencia central está por debajo de los 20 dB por lo que se concluye que los errores en las predicciones más representativas están por debajo de este umbral. La frecuencia de errores por encima de 20 dB tiene poca representatividad por lo que se podría deber a inconsistencias de registros o valores atípicos ya que numéricamente son distantes del resto de datos este umbral se puede considerar para un segundo proceso de depuración.

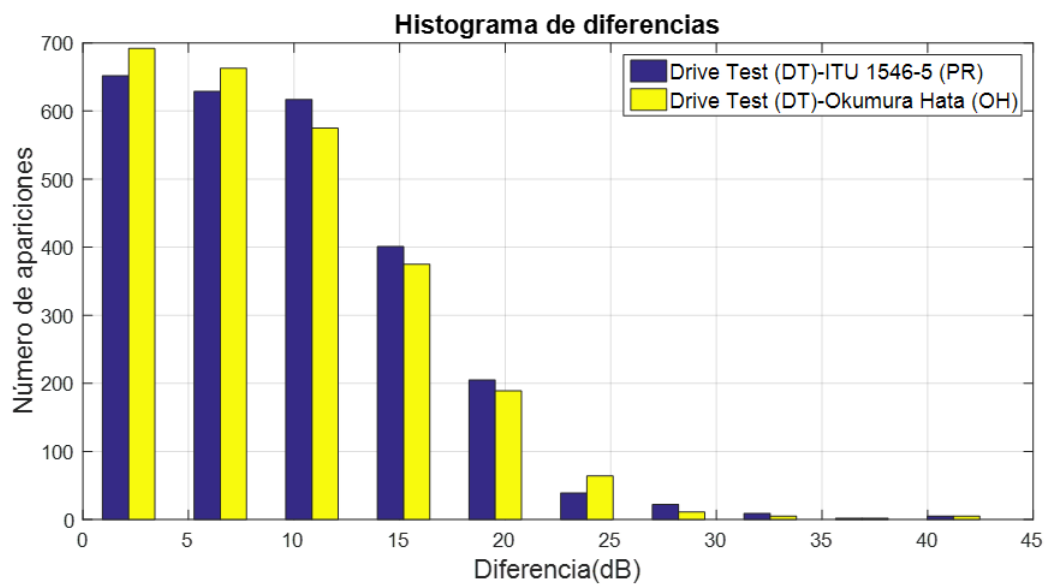


Figura 5.7: Histograma de la diferencia entre el Drive Test (DT) y los modelos de predicción (ITU-R P.1546-5 (PR), Okumura Hata(OH)).

Para diferencias entre niveles de campo menores a 20 dB entre el modelo Okumura-Hata y el DT hay una mayor cantidad de errores (ver figura 5.7), con lo que se podría afirmar que la recomendación ITU-R P.1546-5 estima los niveles de campo de una manera más cercana a mediciones reales en campo.

Para diferencias mayores a 20 dB el número de muestras es de 282 como se puede apreciar en la figura 5.7; es decir, menos del 11 % del total de muestras que se están analizando en este sentido se puede filtrar estos errores para realizar un análisis estadístico más detallado de las diferencias de nivel de potencia. Los niveles correspondientes a estos valores pueden deberse a errores

en el modelo de propagación con respecto a zonas de bosques, con edificios o edificaciones alrededor. Un análisis detallado de estas características no es considerado en el alcance del presente trabajo por lo que se puede filtrar estas mediciones teniendo en cuenta que se van a analizar las muestras más representativas.

c) Análisis Estadístico

El análisis estadístico requiere que la información sea confiable y válida evitando inconsistencias que pudieran ocasionar registros incorrectos. Por tal motivo, es necesario, además de la depuración inicial, eliminar los datos que son numéricamente distantes del resto. Por tal razón, se eliminan los registros correspondientes a valores atípicos de diferencia a 20 dB lo que da como resultado un total de 2.999 datos válidos para el análisis estadístico como se muestra en la figura 5.8.

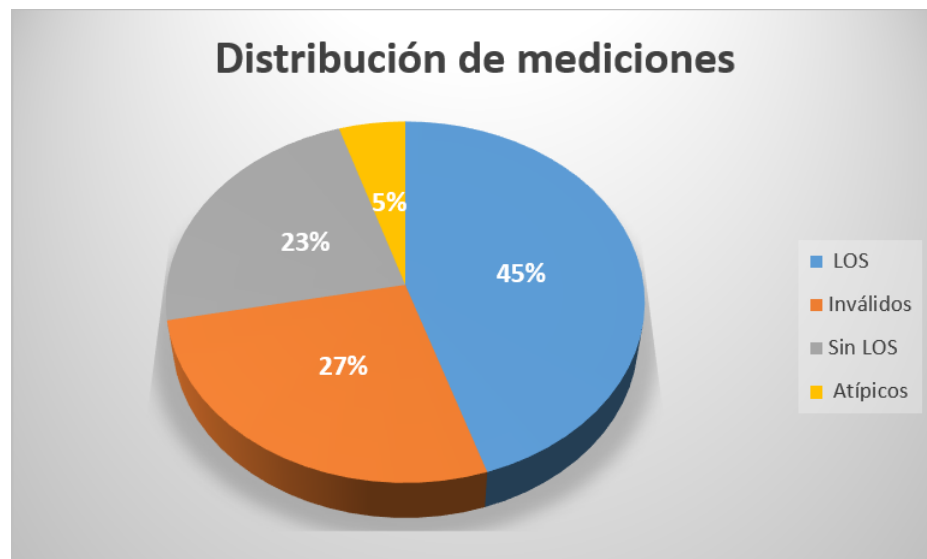


Figura 5.8: Gráfico de proporción de la cantidad de muestras con LOS, Inválidas, Sin LOS y Atípicos.

Del total de 5.461 (100 %), las que son muestras registradas en una zona donde hay línea de vista es de 2.299 correspondiente al 45 % del total de registros.

CAPÍTULO 5. PLANTEAMIENTO DEL MODELO AJUSTADO

En el caso de muestras inválidas debido a que no tiene valor de intensidad de campo o muestras sin referencia en el GPS son de 1.547 (27 %). Estas muestras no se pueden procesar por lo que se descartan para el análisis. Las muestras con valores en donde el modelo falla, debido a zonas con bosques o con edificaciones cercanas, corresponde al 5 %. Y finalmente el número de muestras en zonas donde no hay línea de vista es de 1.333(23 %). En definitiva, el total de muestras con las que se va a trabajar es de 3.914 correspondiente al 73 % del total registradas en el DT en Quito.

Con el objetivo de confirmar la apreciación de que el modelo de la recomendación ITU-R P.1546-5 es más cercano que el de Okumura-Hata a mediciones en campo se calcula la media aritmética, la mediana, el valor mínimo, el máximo, la varianza y la desviación estándar de todas las muestras registradas en el DT y de las predicciones de los modelos de propagación (ver tabla 5.4). Con respecto a la media aritmética se tiene que la diferencia entre DT-PR es

	Media de Potencia (dBm)	Mediana de Potencia (dBm)	Min. Potencia (dBm)	Max. Potencia (dBm)	Varianza σ^2	Desviación Estándar σ
DT	-50,09	-48,7	-87,4	-28,7	118,26	10,87
PR	-48,2	-48,25	-91,83	-30,17	53,74	7,33
OH	-47,57	-47,66	-56,76	-34,35	24,57	4,96

Tabla 5.4: Indicadores estadísticos entre el DRIVE TEST (DT) y las predicciones de la recomendación ITU-R P.1546-5 (PR) además del modelo Okumura-Hata(OH).

del 3,7 % mientras que con el modelo OH es del 5,04 %. En cuanto al cálculo de la mediana la diferencia del DT-PR es del 0,92 % y con el de OH es del 2,14 %. Los resultados obtenidos entre el valor máximo (moda) y el valor mínimo tiene una diferencia de 5,04 % para DT-PR y de 61,82 % para DT-OH, lo que implica una diferencia significativa en los rangos de predicción del modelo. Finalmente, la diferencia porcentual entre la desviación estándar es del 32,5 % para el DT-PR y del 54,36 % para DT-OH; esto da como resultado un valor considerable; lo cual implica que a pesar de que las predicciones están prácticamente validadas, se necesita ajustar la recomendación con parámetros

o características que hasta este punto no se han tomado en cuenta.

Uno de los indicadores para evaluar la naturaleza estadística de medidas versus predicciones es el análisis de correlación y el error cuadrático medio en la tabla 5.5 que detalla la media del error absoluto el porcentaje de diferencia, el coeficiente de correlación y el error cuadrático medio.

El coeficiente de correlación mayor a 0.3 implica que hay relación entre las

	DT-PR	DT-OH
Media de Error (dB)	8,4233	8,3159
% de diferencia niveles de Potencia	3,7676	5,0161
Coeficiente de correlación	0,4827	0,4517
Error cuadrático Medio	9,9302	10,02

Tabla 5.5: Evaluación estadística entre DT-PR y el DT-OH.

medidas y el modelo. A pesar de esto, el modelo estaría validado si la correlación fuese fuerte y positiva. Es evidente que el modelo que más se adapta es el de la recomendación ITU-R P.1546-5, sin embargo, hay que realizar algún tipo de ajuste con consideraciones técnicas y prácticas que permitan mejorar la predicción de la recomendación ITU-R P.1546-5.

d) **Análisis de ajustes**

En esta parte se analizan los parámetros técnicos, recomendaciones para predicciones de TDT, efectos de propagación, que se podrían incluir con la finalidad de mejorar la predicción de la recomendación ITU-R P.1546-5. La recomendación no considera el patrón de radiación de la antena ni el tilt específicamente, esta omisión puede dar como resultado un error de estimación dependiendo de la configuración práctica de la antena. En base al punto mencionado anteriormente, se determina el error entre el DT y las predicciones de los modelos de propagación con respecto al azimut al que esté la muestra. Para el cálculo de este error, se analiza el azimut de la antena transmisora, así

como las características del patrón de radiación, ver anexo C.

Se utiliza la distribución de frecuencias de potencia además del análisis de indicadores estadísticos descritos en los apartados (b) y (c). La distribución de frecuencias para valores que abarcan los lóbulos principales, es decir, valores que están dentro del ancho de haz de media potencia de las antenas (ver figura 5.9 (a)), tienen mayor similitud en cuanto a la frecuencias centrales además de las distribuciones de intensidad de campo que los que están fuera del rango de los azimuts de la antena en donde la tendencia central tiene una mayor diferencia (ver figura 5.9 (b)). Estas características evidentemente producen diferencias considerables que se deben tomar en cuenta ya que la recomendación ITU-R P.1546-5 considera características omnidireccionales, pero en la práctica se utilizan antenas como las del sistema en Quito con las características técnicas descritas en la tabla 4.6 y en el anexo C.

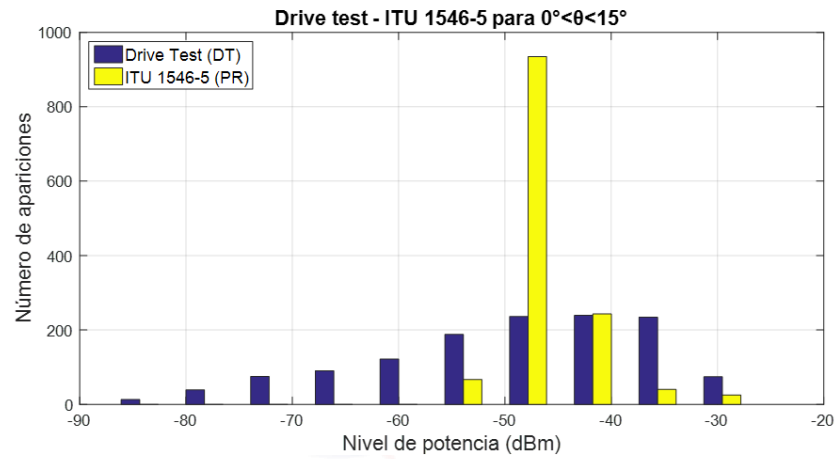
Evaluando los indicadores estadísticos resulta que la diferencia entre todos los valores que están en el rango definido por los azimuts dentro de los lóbulos principales es del 0,54 % mientras que fuera del lóbulo del 9,11 %. Esta es una razón concluyente para agregar como ajuste las características del patrón de radiación de las antenas.

5.5.2. Error en zonas donde no hay línea de vista

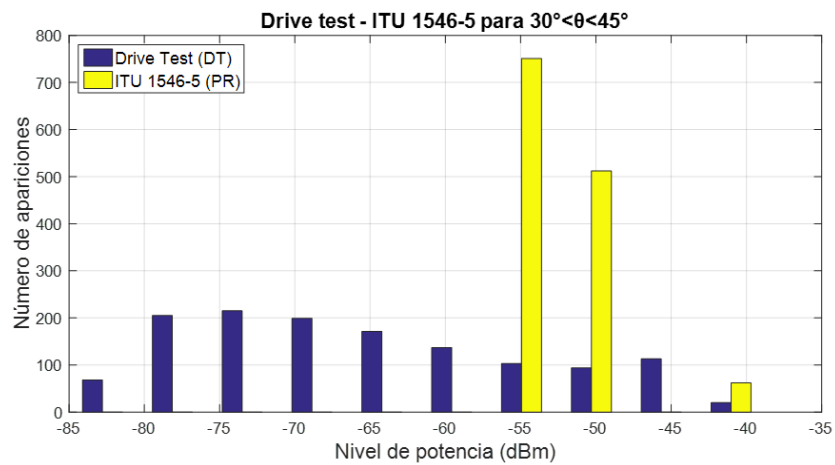
En la sección 4.3.6 se detallan las zonas en donde a través del DT se obtuvieron niveles de señal bajos [32]. Con el objetivo de evaluar la eficacia de la predicción de la recomendación ITU-R P.1546-5, se superpuso el DT y la predicción en Google Earth (ver figura 5.10).

El memorando [32] menciona 6 zonas en donde hay bajos niveles de señal. Cuando se superponen el DT y la PR las zonas en donde a través del DT (zonas de colores rojizos) se detectaron bajos niveles de señal corresponden a zonas en donde la predicción da como respuesta zonas en donde no hay línea de vista (zonas de color azul) (ver figura 5.11).

CAPÍTULO 5. PLANTEAMIENTO DEL MODELO AJUSTADO



(a) $\theta < 15^\circ$



(b) $30^\circ < \theta < 45^\circ$

Figura 5.9: Distribución de frecuencias con respecto a los azimuts del arreglo de antenas usado para la transmisión de TDT en Quito.

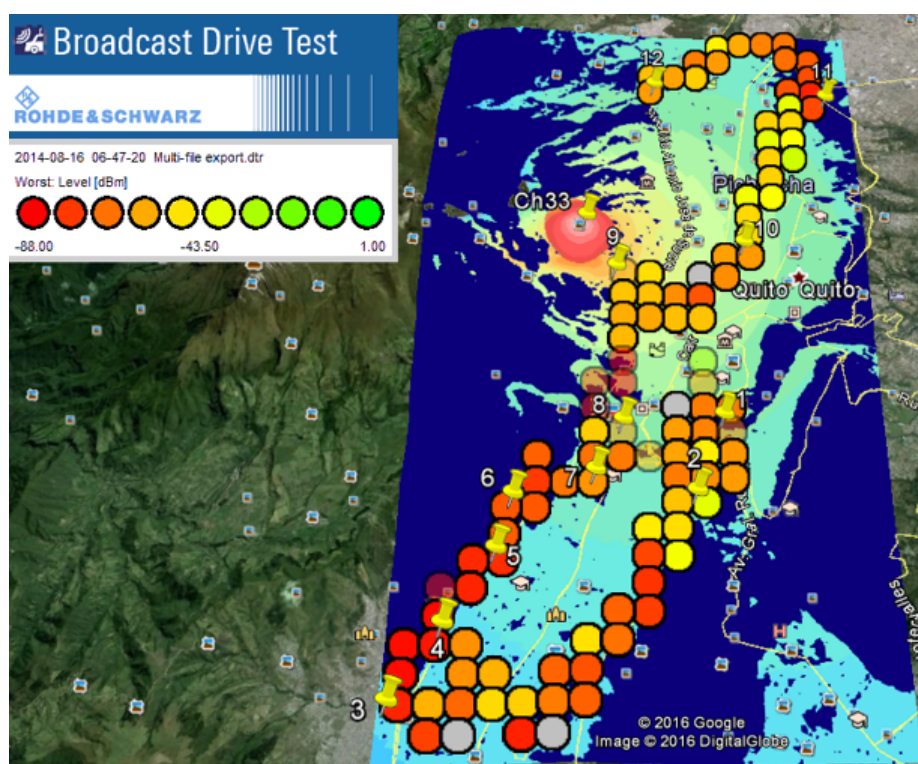
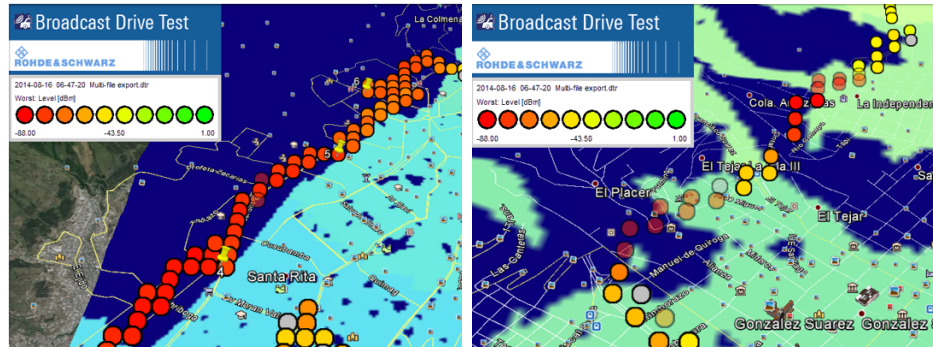


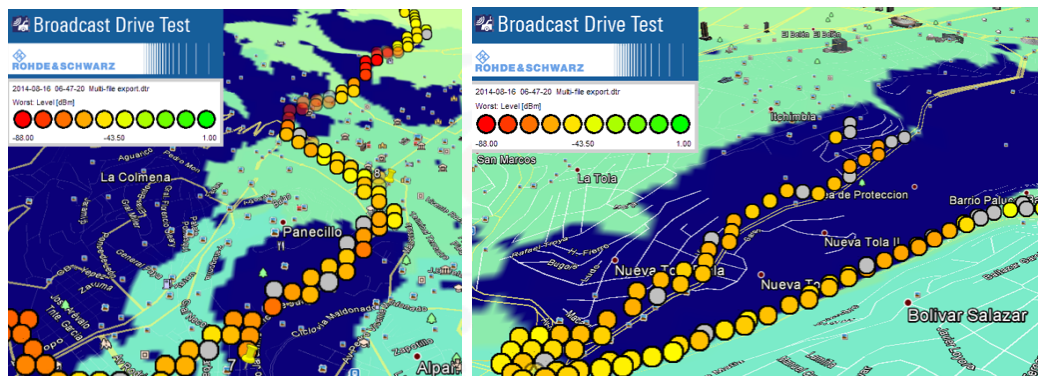
Figura 5.10: Superposición del DT y la PR para Quito.

CAPÍTULO 5. PLANTEAMIENTO DEL MODELO AJUSTADO



(a) La Mascota-Chillogallo

(b) Centro histórico



(c) Panecillo

(d) Itchimbia

Figura 5.11: DT y PR en zonas de sombra (sin línea de vista).

Estos resultados implican que la implementación de la recomendación ITU-R P.1546-5 permite obtener zonas de sombra eficientemente y zonas en donde la nivel de potencia es menor. Si se necesitan predecir zonas en donde la intensidad de campo es baja, el presente trabajo valida dichas zonas.

Además de las 6 zonas descritas anteriormente, a través de la simulación de PR se pudo obtener zonas adicionales donde los niveles de señal son bajos, como es el caso de la Avenida Simón Bolívar cerca de Vertientes Unidas. Y la zona San Francisco del Norte ubicada al Noreste de Quito (ver figura 5.12).

El DT se realizó de acuerdo con la experiencia previa de SUPERTTEL con la televisión analógica [32]. Cuando se superponen el DT y la PR (ver figuras 5.10

CAPÍTULO 5. PLANTEAMIENTO DEL MODELO AJUSTADO

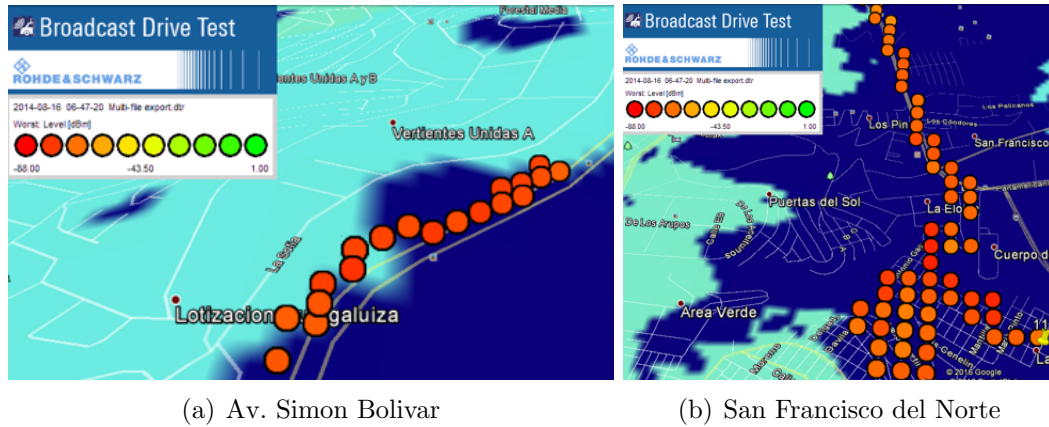


Figura 5.12: DT y PR en zonas de sombra adicionales.

y 5.11), se evidencia que la simulación de la ITU-R P.1546-5 define eficazmente el área de cobertura de una señal UHF usada para TDT con el estándar ISDB-Tb.

Con respecto a la distribución de frecuencias para zonas en donde no hay línea de vista existe un error significativo. Por ejemplo, la tendencia central del DT difiere en valores de más de 15 dB de la PR (ver figura 5.13).

Para estos casos, debido a que la distribución de error tiene tendencia central en valores mayores a 20 dB, no resulta conveniente depurar los valores para el análisis de indicadores estadísticos, debido a que son pocas muestras que no aportan información al patrón principal de las muestras (ver figura 5.14).

La diferencia en los histogramas tiene congruencia con los indicadores estadísticos (ver tabla 5.6).

	Media de Potencia (dBm)	Mediana de Potencia (dBm)	Min. Potencia (dBm)	Max. Potencia (dBm)	Varianza σ^2	Desviación Estándar σ
DT	-68,11	-69,2	-87,4	-35,5	80,39	8,97
PR	-51,42	-51,055	-56,83	-39,54	8,88	2,98

Tabla 5.6: Indicadores estadísticos entre el DRIVE TEST (DT) y las predicciones de la recomendación ITU-R P.1546-5 (PR) para zonas sin línea de vista.

Con respecto a la media de error (ver tabla 5.7), se establece que para zonas

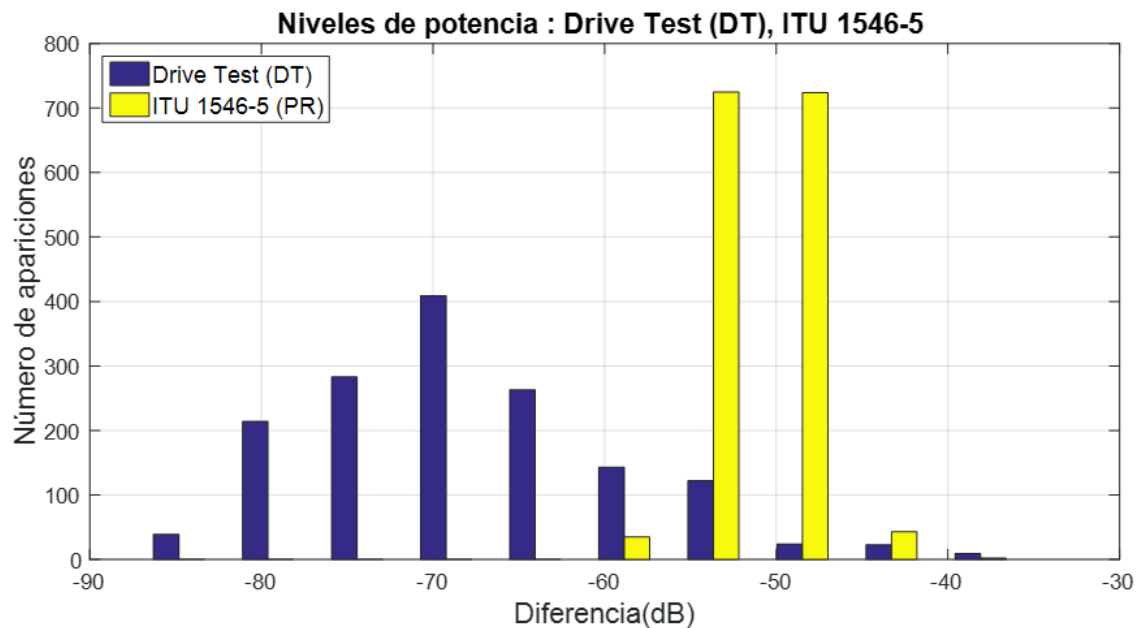


Figura 5.13: Histograma de la diferencia entre el DT e ITU-R P.1546-5 (PR) para zonas sin línea de vista.

en donde no hay línea de vista se tiene que agregar algún ajuste técnico.

	Predicción ITU
Media de Error (dB)	17,0764
% de diferencia niveles de Potencia	24,51
Coefficiente de correlación	0,54
Error cuadrático Medio	18,41

Tabla 5.7: Evaluación estadística entre DT-PR.

De los errores obtenidos, se define que uno de los aspectos que se tiene que agregar es el patrón de radiación de las antenas, el *tilt* y un análisis del efecto del ángulo de despejamiento para zonas donde no hay LOS ¹. El error más crítico se tiene en las zonas donde no hay LOS; por lo que se le dará principal importancia a esta zona en los ajustes con la finalidad de reducir el error y validar el modelo. En cuanto a definición de zonas de baja señal, la simulación predice correctamente

¹Ver término en glosario

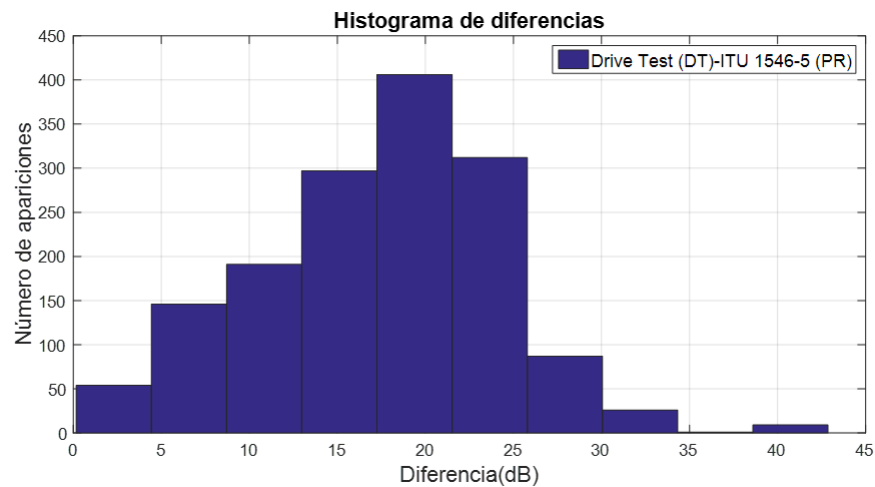


Figura 5.14: Distribución de diferencias entre el DT y ITU-R P.1546-5 (PR) para zonas sin línea de vista.

las zonas, pero no así los valores o niveles. Debido a esto, resulta necesario hacer un ajuste para la predicción de niveles de campo.

5.6. Estimación y cálculo del error para mediciones en Cuenca

En esta sección se presenta un análisis del error obtenido de las predicciones de la recomendación ITU-R P.1546-5 y el modelo Okumura-Hata con respecto a las medidas obtenidas del DT en la ciudad de Cuenca. Se realiza un solo análisis, y lo que se presenta son las diferencias relevantes entre las mediciones y las predicciones del software de simulación.

De la inspección realizada a la estación de Ecuador TV en Icto Cruz, se pudieron obtener en detalle todas las características del sistema de transmisión se comprueba que el entorno que más se adecuaba a las medidas es un entorno suburbano ($R_2=10m$), usando una altura del receptor de 3 m.

5.6.1. Distribución de frecuencias

Del total de 8.415 muestras para la antena de recepción con polarización horizontal y las 6.244 muestras para los valores obtenidos con la antena de recepción de polarización vertical móvil del sistema SACER, se realiza un promedio de muestras para puntos de coordenadas iguales.

Luego de tener las muestras validadas, el histograma de frecuencias muestra que la tendencia central de las mediciones con la antena de polarización vertical tiene una diferencia menor a 5 dB. La tendencia central de la antena de polarización horizontal es mayor a los 20 dB (ver figura 5.15). Observando las tendencias centrales se concluye que la antena transmisora tiene polarización vertical debido a pérdidas menores. Por esta razón, en las pruebas técnicas para medir el área de cobertura, se utiliza la antena de polarización vertical de la estación móvil del sistema SACER [31].

A pesar de que el nivel de potencia de la antena transmisora es mucho menor al

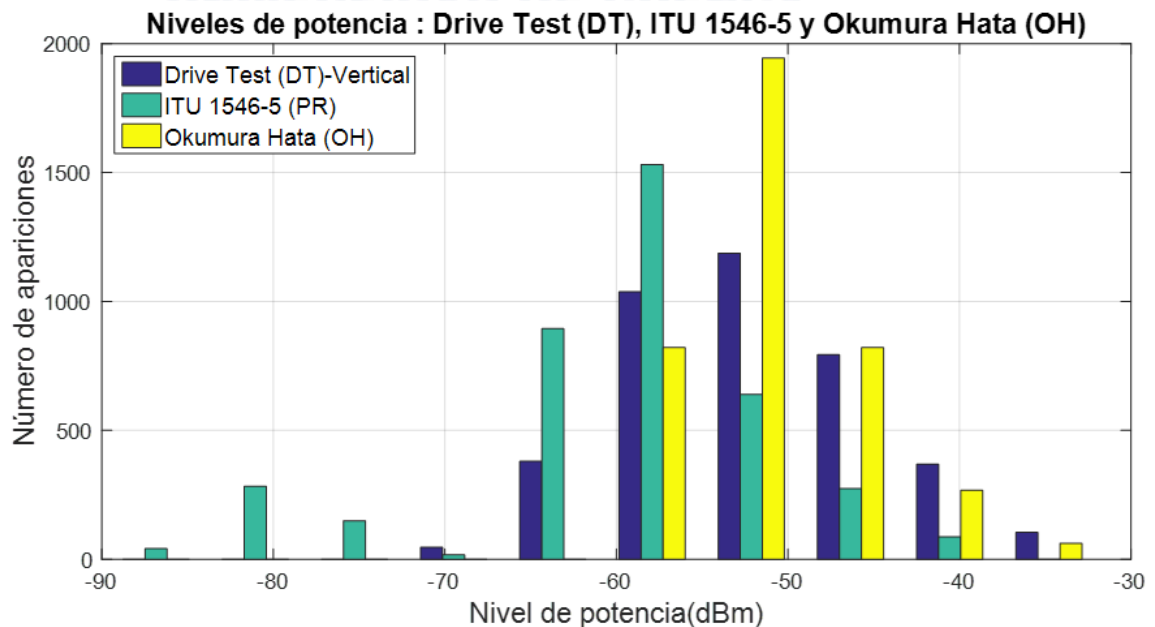


Figura 5.15: Apariciones de los niveles de potencia del DT con antena receptora de polarización horizontal y vertical, recomendación ITU-R P.1546-5 (PR), y modelo Okumura-Hata (OH).

de 2150 W y 3000W usado en Quito la tendencia de la gráfica de frecuencias es muy similar en el caso de Cuenca (ver figura 5.6). De la misma manera al igual que el caso de Quito, con respecto al histograma de los niveles de potencia, se comprueba que las predicciones más cercanas son las correspondientes a la recomendación ITU-R P.1546-5.

Para diferencias entre niveles de campo menores a 8 dB que son los más representativos, entre el modelo Okumura-Hata y el DT hay una mayor cantidad de errores (ver figura 5.16) lo que implica un resultado similar al obtenido en Quito. La mayor distribución de errores cerca de la tendencia central define que

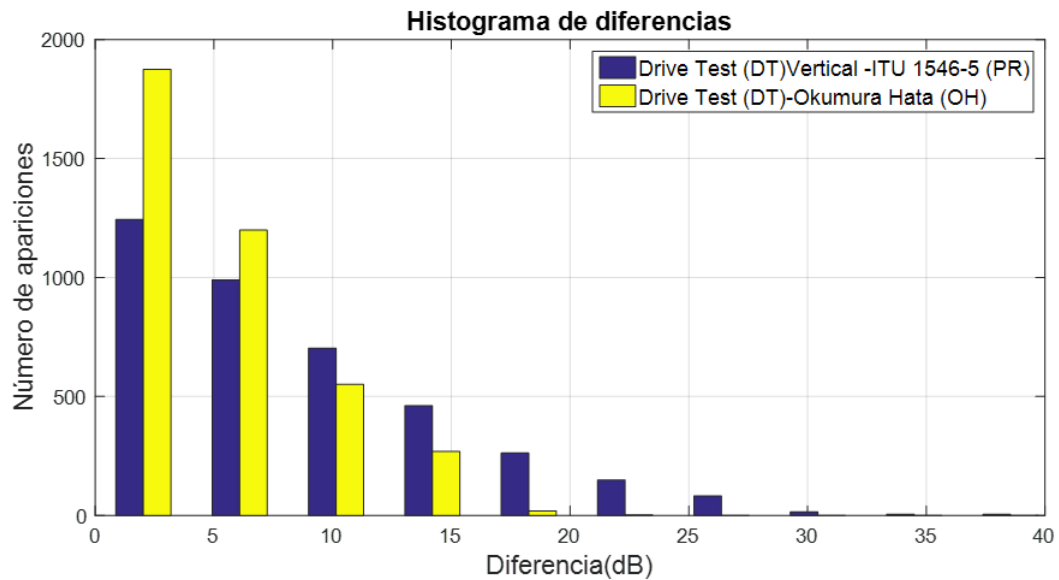


Figura 5.16: Histograma de la diferencia entre el Drive Test (DT) y los modelos ITU-R P.1546-5 (PR) Okumura-Hata (OH) para Cuenca.

la predicción más cercana a los valores en el campo es el de la recomendación ITU-R P.1546-5.

5.6.2. Análisis estadístico

Con respecto a la distribución urbana de Cuenca hay zonas en donde la ruta definida estaba rodeada de edificios, árboles, parques, etc., no se realizó un análisis

CAPÍTULO 5. PLANTEAMIENTO DEL MODELO AJUSTADO

específico para ciertas zonas sino que se tomaron todas las medidas validas del DT con la antena de recepción de polarización vertical y se calcularon los indicadores estadísticos con el fin de definir relevancias con respecto a los datos obtenidos para Quito.

Los resultados obtenidos para todas las muestras indican, con respecto a la

	Media de Potencia (dBm)	Mediana de Potencia (dBm)	Min. Potencia (dBm)	Max. Potencia (dBm)	Varianza σ^2	Desviación Estándar σ
DT	-52,30	-52,79	-70,99	-31,89	49,72	7,051
PR	-59,86	-59,22	-89,73	-38,95	82,62	9,089
OH	-51,26	-52,55	-59,41	-35,56	25,06	5,01

Tabla 5.8: Indicadores estadísticos entre el DRIVE TEST (DT), las predicciones de la recomendación ITU-R P.1546-5 (PR) y el modelo Okumura-Hata(OH) para Cuenca.

media de potencia, que el valor más cercano es la predicción de Okumura-Hata, sin embargo, un indicador más preciso es el valor de la desviación estándar y los niveles de potencia. Para el caso de las mediciones, la media es de alrededor de 40 dBm, el de la recomendación ITU-R P.1546-5 de 50 dBm y el modelo Okumura-Hata de 24 dBm. Esto implica que la predicción más cercana es el de la recomendación ITU-R P.1546-5 (ver tabla 5.8). Con respecto al coeficiente de correlación y el error cuadrático medio, se tiene que hay una mejor correlación entre el DT y la recomendación ITU-R P.1546-5 que con el modelo de Okumura Hata. Sin embargo el error cuadrático medio es mayor en el primer caso (ver tabla 5.9).

	DT-PR	DT-OH
Coeficiente de correlación	0,59	0,48
Error cuadrático Medio	10,65	6,47

Tabla 5.9: Evaluación estadística entre DT-PR y el DT-OH.

5.6.2.1. Análisis de ajustes

Al igual que el caso de Quito se notaron diferencias importantes con respecto al azimut de las antenas, cuando hay mayor variación de ángulo, la distribución de errores se modifica lo que implica que es necesario un ajuste con respecto al patrón de radiación de la antena. El análisis de tendencias, así como los indica-

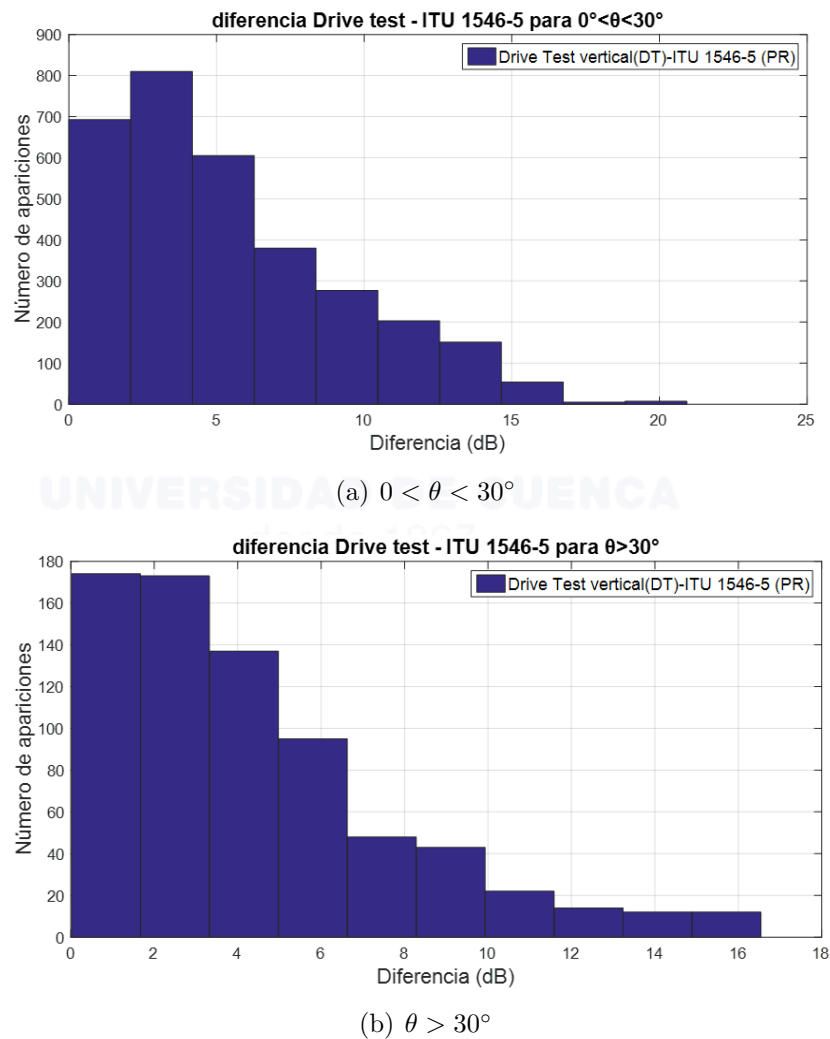


Figura 5.17: Histograma de la errores con respecto al ángulo entre el DT y la recomendación ITU-R P.1546-5.

dores estadísticos, son prácticamente similares tanto para la ciudad de Cuenca como para Quito.

Debido a que las instalaciones de Ecuador TV en Cuenca están en fase de pruebas, y considerando las similitudes entre las mediciones de Quito y Cuenca, se pueden tomar los datos de las mediciones de Quito, avaladas por ARCOTEL en el documento técnico descrito en [29].

5.7. Modificaciones al modelo

En esta sección se analizan las posibles modificaciones de carácter técnico que se pueden realizar al modelo de propagación con base en la recomendación ITU-R P.1546-5, para luego implementarlos a través de algoritmos desarrollados en Matlab.

5.7.1. Patrón de radiación y tilt

Hasta ahora las predicciones con el modelo ITU-R P.1546-5 fueron realizadas asumiendo que el patrón de radiación de la antena transmisora es omnidireccional. Esta suposición es una debilidad en el ámbito práctico, debido a que cada antena utilizada para *broadcasting* tiene características particulares en cuanto a su patrón de radiación tanto en el plano horizontal como el vertical. Por lo tanto, es necesario incluir dicho patrón en la simulación.

La recomendación ITU-R P.1546-5 no toma en cuenta este aspecto importante de la antena transmisora. En este punto se propuso incluir una atenuación debida a las características de radiación de la antena. Dicha atenuación se ha realizado en base a las fichas técnicas de la antena transmisora, referirse al anexo C.

Para el ajuste en el programa, existen dos valores muy importantes a tomar en cuenta: el azimut y el tilt. El primero representa el ángulo medido respecto del eje norte hacia donde la antena transmisora está dirigida, cuyo rango de valores comprende entre 0 y 360 grados, se describe en la sección 2.8.4. El segundo término se refiere al ángulo de inclinación de la antena respecto al plano horizontal que va de -90 a 90 grados, ver figura 2.15, sección 2.8.3.

Para incluir los dos ángulos mencionados en el análisis, se pudo hallar la diferencia entre el ángulo del azimut de la antena transmisora y el ángulo del sitio donde se requiere la predicción. Dicha diferencia corresponde a un valor de atenuación en la predicción inicial.

Debido a que el patrón de radiación de la antena está referida en función a un arreglo de antenas, se realizó una aproximación mediante fórmulas descritas en [25]. La ecuación 5.1 es la que se ha implementado en el programa, tanto para el patrón horizontal como el vertical.

$$\mathbf{AF} = \left[\frac{\text{sen} \left(\frac{N}{2} \psi \right)}{\frac{N}{2} \psi} \right] \quad (5.1)$$

Donde ψ se halla mediante la ecuación 5.2. Dependiendo si el patrón es horizontal o vertical, el valor de θ es 0 ó 90 grados.

$$\psi = k * d * \cos(\theta) + \beta \quad (5.2)$$

donde :

$$\beta = -k * d * \cos(\theta)$$

$$k = 2\pi$$

d = espaciamento entre elementos.

Cabe recalcar que el ancho de haz a media potencia debe ser muy similar al patrón original dado en el anexo C para así poder tener resultados coherentes con mediciones en campo.

5.7.2. Ángulo de despejamiento

Una corrección que recomienda la ITU en [1], es la basada en el ángulo de despejamiento. Dicha corrección se realizó con las fórmulas proporcionadas en la recomendación, ver apartado 12 del anexo 5 en [1]. Un aspecto importante de este ángulo es que no debe ser menor a 0,55 ni mayor a 40 grados. Esta corrección es de suma importancia para los lugares donde no hay línea de vista.

5.7.3. 90 % del tiempo 50 % de las ubicaciones

En la sección 2.2.2.2 se detallan los aspectos técnicos para sistemas de transmisión de TDT de acuerdo las normativas vigentes en el Ecuador avaladas por ARCOTEL. Se establece la intensidad mínima de campo para por lo menos el 90 % del tiempo y el 50 % de los sitios de recepción [18].

Las predicciones de nivel de potencia realizadas hasta ahora han tenido como base la metodología expuesta en la sección 2.5.2, usando las tablas tabuladas proporcionadas por la ITU correspondientes a la figura 2.5 de la intensidad de campo en $dB(\mu V/m)$ en función de la distancia asociada al 50 % del tiempo y 50 % de los sitios de recepción. En este sentido es necesario realizar un ajuste de predicciones para el 90 % del tiempo y 50 % de los sitios de recepción con la finalidad de que los resultados obtenidos cumplan con la norma establecida en el Ecuador.

La Agencia Nacional de Telecomunicaciones de Brasil (ANATEL) a través de la resolución 298 establece que para obtener el campo para el 90 % de tiempo y 50 % de los sitios de recepción se aplique la ecuación 5.3 [34].

$$E(90, 50) = 2 * E(50, 50) - E(10, 50) \quad (5.3)$$

La ecuación 5.3 es la utilizada por ANATEL para predicciones de intensidad de campo. Al igual que ANATEL, la UNIDAD REGULADORA DE SERVICIOS DE COMUNICACIONES de Uruguay a través del decreto número 263/013 recomienda esta fórmula [20]. Uruguay es uno de los países de la región que ha adaptado el estándar ISDB-Tb para la implementación de TDT en su territorio.

Para aplicar la ecuación 5.3 se debe estimar la intensidad de campo para el 10 % del tiempo y el 50 % de los sitios de recepción. La ITU a través del MINTEL proporciona las tablas tabuladas correspondientes a la figura 5.18, ver tabla A.3 y A.4 del anexo A.

A través de un análisis de datos con MatLab se sistematizan los valores correspondientes a las tablas tabuladas. Luego, utilizando RadiUC, se ejecuta la

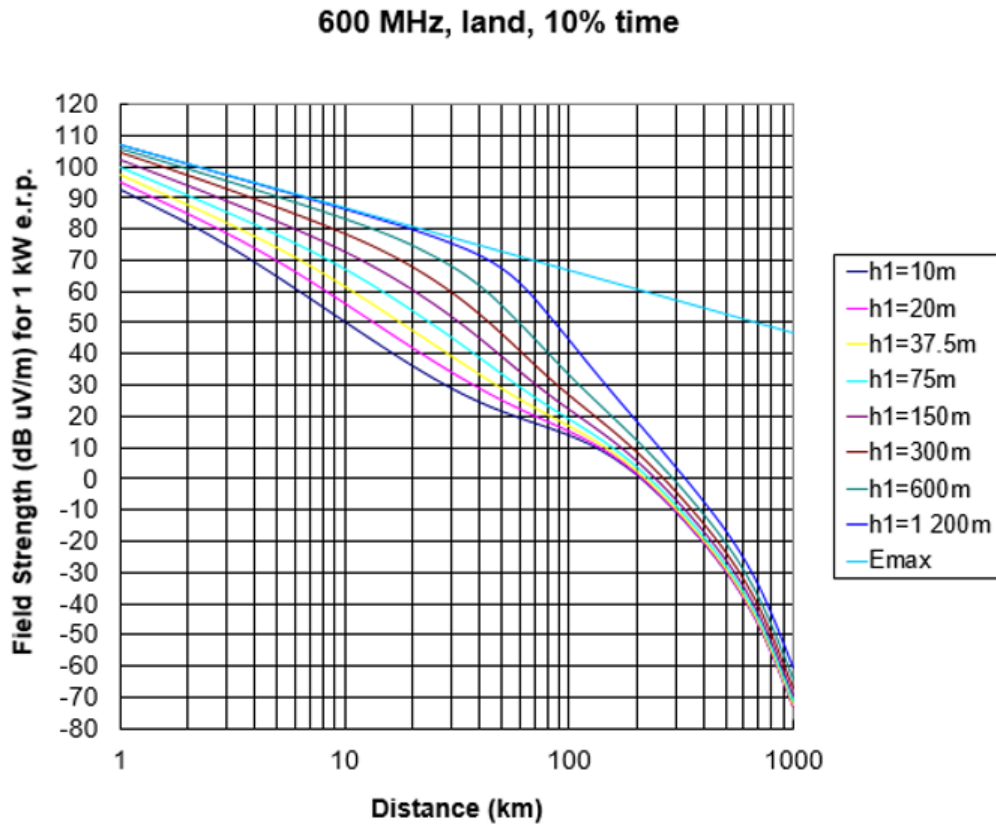


Figura 5.18: Intensidad campo para el 10 % de tiempo y 50 % de los sitios de recepción [1].

simulación para la predicción de campo.

5.8. Validación del modelo de propagación

Luego de efectuar los ajustes debidos al diagrama de radiación, ángulo de despejamiento para zonas de sombra, ángulo de inclinación, análisis de azimuts, análisis de entornos urbanos, suburbanos, y densamente urbanos además de las correcciones debidas a la altura de antena receptora/móvil y la corrección de la diferencia de alturas de m.s.n.m, se desarrollan análisis de tendencias acerca de las modificaciones que han tenido los modelos iniciales y su validez en base a mediciones de campo. Otro de los procedimientos que se aplica, es la comparación con las predicciones del software de simulación usado por ARCOTEL, ICS Telecom.

Este software permite realizar diversas configuraciones técnicas; por ejemplo, se puede simular un determinado modelo de propagación, añadir patrones de radiación, *clutters* que definen zonas suburbanas, urbanas o densamente urbanas, entre otras configuraciones que se pueden agregar al software.

5.8.1. Validación de la rasterización de la base de datos proporcionada por ARCOTEL

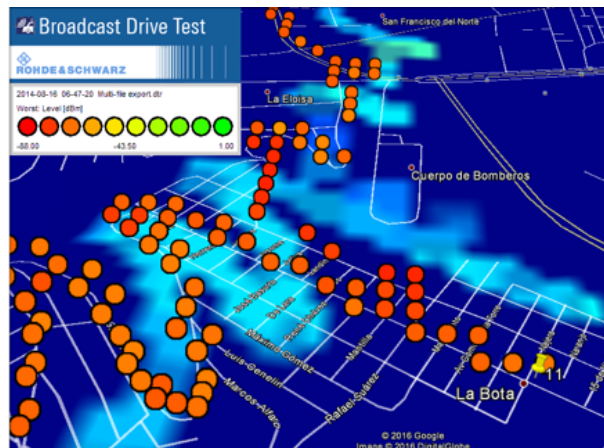
Una de las validaciones importantes en el proyecto es el de la rasterización de las mediciones realizadas en el DT (ver figura 5.19). La figura 5.19 (a) muestra un error, de 150 metros, respecto a la rasterización de la base de datos de mediciones proporcionada por ARCOTEL. Luego de referenciar correctamente, la matriz de coordenadas y de realizar modificaciones como la matriz de referencia se valida correctamente el proceso de rasterización (ver figura 5.19 (b)) lo que implica que las operaciones con las matrices obtenidas de la PR, OH y del DT son correctamente georreferenciadas.

La importancia de este hecho radica en que se puede comparar cualquier coordenada [latitud, longitud] obtenida del GPS del DT con las coordenadas [latitud, longitud] del ráster en donde carga los datos de intensidad de campo con las predicciones de la recomendación ITU-R P.1546-5 o del modelo Okumura-Hata.

5.8.2. Simulación utilizando el software de simulación ICS Telecom

El software utilizado por ARCOTEL para la predicción del área de cobertura además de la intensidad de campo o del nivel de potencia es ICS Telecom. En esta sección se detalla la forma en la que se realizaron las simulaciones para Quito para la predicción de intensidad de campo con ICS Telecom. Se trata de un software de simulación de radiocomunicaciones basado en un sistema de información cartográfica. Permite realizar varios tipos de simulación y representación de los sistemas de radiocomunicaciones más comunes, con la posibilidad de evaluar el desempeño de los mismos con la mayor precisión posible [35].

CAPÍTULO 5. PLANTEAMIENTO DEL MODELO AJUSTADO



(a) Ráster Inicial



(b) Ráster Final

Figura 5.19: Archivos rasterizados del DT sobrepuestos en Google Earth al archivo proporcionado por ARCOTEL.

Existen muchas ventajas al utilizar ICS Telecom para predecir la intensidad o nivel de una señal electromagnética como la calidad de los mapas que se utilizan, la eficiencia y eficacia en la predicción, la utilización de muchos modelos de propagación, etc. ARCOTEL autorizó su utilización.

En el software se configuraron el transmisor y receptor de acuerdo con las tablas 4.6 y 4.7. Además se utilizaron dos archivos, uno para la definición de zonas pobladas y otro correspondiente al MDT. Para la simulación del patrón de radiación y tilt se utilizó el patrón de los datos técnicos de la antena (ver anexo C) en el programa Antios que permite configurar un determinado patrón de radiación con características específicas. Cuando se ha configurado todo el archivo se guarda el modelo de la antena o arreglo de antenas en un archivo de formato tipo .ard (ver figura 5.20).

Los aspectos más relevantes de la configuración del arreglo son: distancia entre

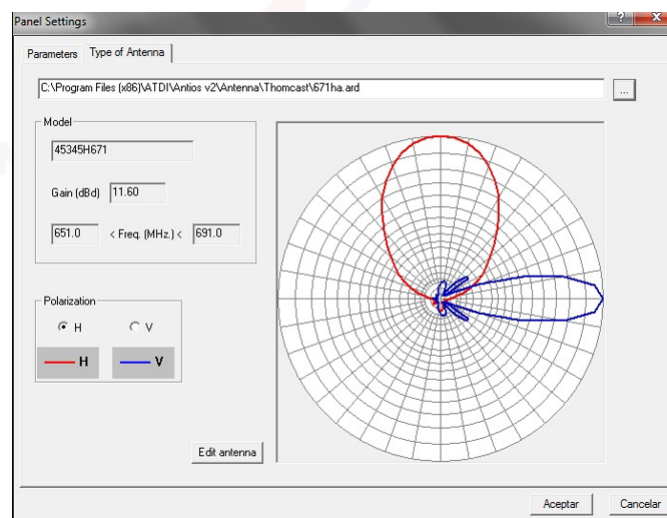


Figura 5.20: Configuración en Antios del patrón e radiación del arreglo de antenas.

dipolos, azimuts, ganancia de la antena, tipo de polarización, variación con respecto al ángulo de la ganancia para el patrón horizontal y vertical de la antena y rango de frecuencias, ver figura 5.20.

Una de las herramientas que posee el software Antios es visualizar el patrón de radiación total, es decir, en el espacio x , y y z . A través de esta herramienta, se puede estimar el efecto de la propagación de la señal (ver figura 5.21).

La respuesta de ICS Telecom para la simulación de la señal de TDT en la ciudad

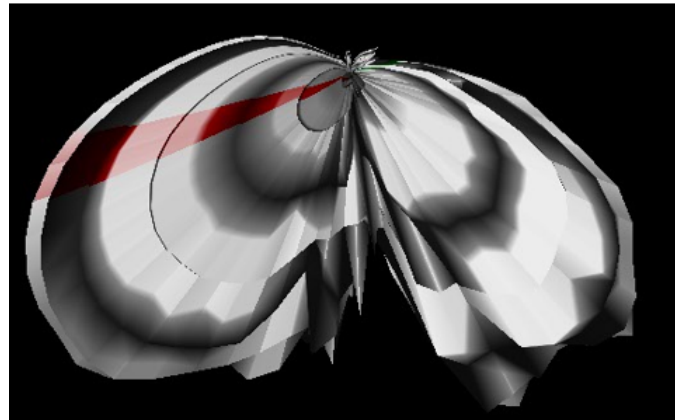


Figura 5.21: Patrón de radiación total del arreglo configurado en Antios.

de Quito de acuerdo a las características detalladas en la tabla 4.6 y el anexo C se expone en la figura 5.22.

Con el objetivo de realizar una comparación estadística y cuantitativa se exportan los resultados a un archivo de tipo ASCII Grid compatible con el tipo de archivos que se ha manipulado a lo largo del presente trabajo. A su vez, se exportan mapas a Google Earth con la finalidad de realizar un análisis de tendencias del gráfico entre la predicción de RadiUC y la de ICS.

El software ICS Telecom predice el área de cobertura igual a la predicción de RadiUC (ver figura 5.23). Las zonas de sombra, así como los sitios donde los niveles de señal son bajos, las mediciones coinciden con las predicciones de ICS Telecom y RadiUC. Desde un punto de vista de tendencias gráficas y formas de predicción del área de cobertura, los resultados obtenidos con ICS Telecom y RadiUC son consistentes.

5.8.3. Validación del modelo basado en la recomendación ITU-R P.1546-5 desarrollado en el software RadiUC

El modelo de propagación tiene como base la recomendación ITU-R P.1546-5 y ha sido ajustado en base a mediciones de campo realizadas en Quito a través de un DT y de mediciones en puntos fijos. Para la validación del modelo se consideran las siguientes condiciones:

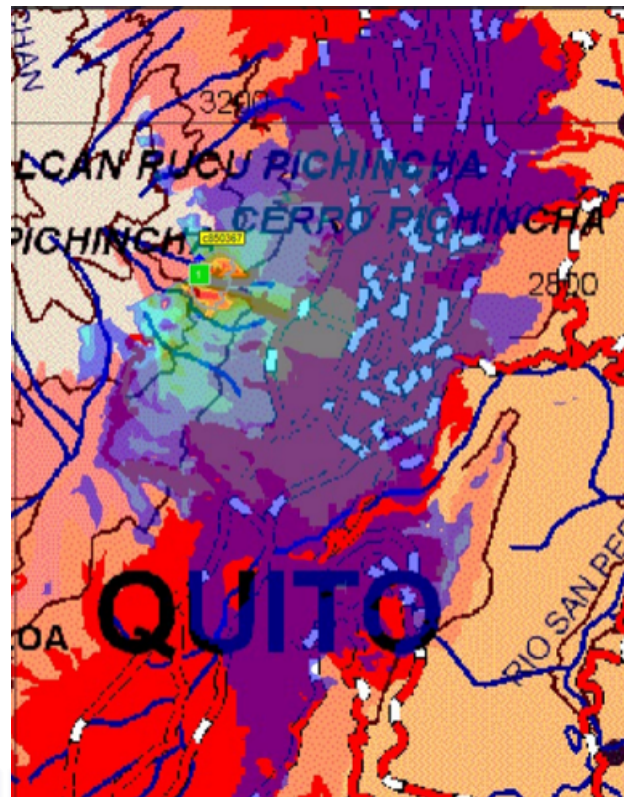


Figura 5.22: Predicción del nivel de señal de TDT en ICS Telecom para Quito.
Fuente: ARCOTEL.

- **Normativa:** El área de cobertura está definida por niveles de intensidad de campo mínimo de $51dBuV/m$, y cumplan con el 90 % del tiempo y el 50 % de los sitios de recepción de acuerdo a [18].
- **Comparaciones con software de simulación:** Se espera que los resultados sean comparables o mejores que las predicciones del software ICS Telecom.
- **Número de muestras:** La validación debe realizarse con el total de 3.914 muestras válidas del DT y con las 12 muestras de mediciones en puntos fijos de acuerdo a [29].
- **Media aritmética de la intensidad de campo:** La diferencia entre la media aritmética de la predicción del nivel de potencia del modelo ajustado

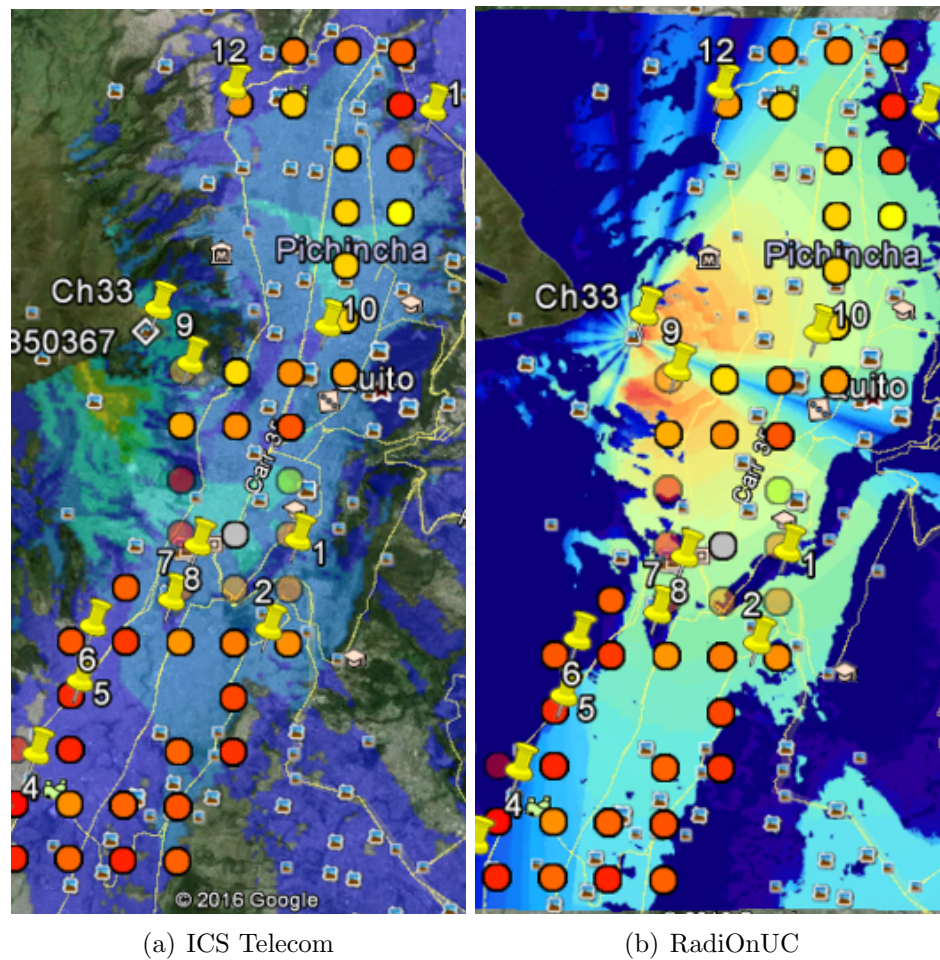


Figura 5.23: Comparación gráfica de predicciones. Fuente: ARCOTEL.

y de las mediciones sea menor a 2 dB, es decir que el porcentaje de diferencia sea menor al 2 %.

- **Media Aritmética error absoluto:** La media aritmética del error sea menor a 9 dB.
- **Correlación:** El coeficiente de correlación entre las mediciones reales y las predicciones sea fuerte, es decir, un coeficiente mayor a 0,5.

5.8.3.1. Validación en base al drive test

Se analizan 4 bases de datos correspondientes a los valores de intensidad de campo o niveles de potencia para diferentes puntos de Quito. La primera corresponde a las 3.914 muestras válidas de mediciones en Quito DT, la segunda a la predicción de la recomendación ITU-R P.1546-5(PR(ITU-1546-5)), la tercera a la predicción del software de simulación ICS Telecom y la última correspondiente a una predicción realizada en base a los ajustes descritos en la sección 5.5; es decir, la predicción final implementada en el programa [RadiUC](#).

Para la validación se utilizó un diagrama de frecuencias e indicadores estadísticos. En el diagrama de frecuencias de las 4 bases de datos (ver figura 5.24), la predicción que más se ajusta a las medidas corresponde a la simulación de la recomendación ITU-R P.1546-5 con los ajustes descritos en la sesión 5.5 incluyendo la recomendación para el 90 % del tiempo y 50 % de los sitios de recepción, teniendo como parámetro de validación la legislación vigente en el Ecuador el modelo que está ajustado y validado es el PR-AJUSTES-90/50 (ver figura 5.24).

Si bien la forma de la predicción con ICS Telecom, es similar a la [RadiUC](#), los resultados difieren. Los resultados difieren debido a que ICS Telecom tiene una mayor penalización en la predicción con el fin de garantizar la cobertura en el receptor. Este implica que pueden existir áreas donde hay señal recibida, a pesar de que la predicción dice lo contrario. Esto es una desventaja en la planificación, influyendo directamente en los costos de los transmisores ya que se requeriría más potencia para cubrir sitios donde no existe señal, según la predicción.

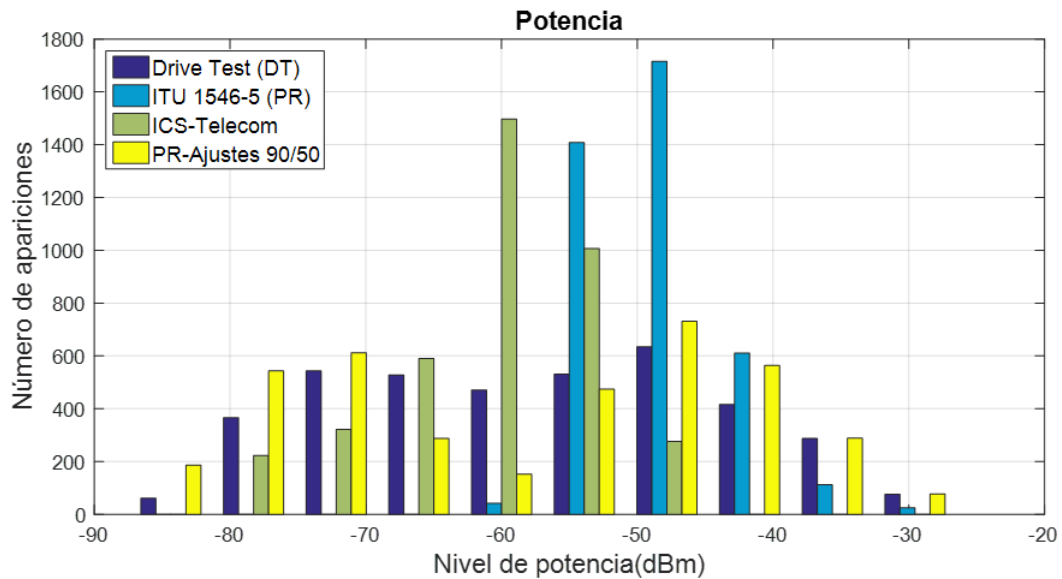


Figura 5.24: Distribución de frecuencias de nivel de potencia en dBm.

En el caso de la distribución de frecuencias de errores absolutos, los errores mayores a 15 dB presentan una reducción considerable (ver figura 5.25). Al comparar el error entre la predicción sin ajustes y la predicción con ajustes, se puede observar que para la segunda predicción la tendencia del error es 10 dB. Lo que se esperaría para validar el modelo, es que los errores tiendan a 0; lo que se evidencia en la distribución de frecuencias de error. Con respecto a las predicciones del ICS Telecom, la distribución de errores (DT-ICS Telecom) es particularmente similar a la distribución de errores de la predicción de la recomendación sin ajustes (DT-PR) (ver figura 5.25).

Con respecto a los indicadores estadísticos relevantes se tiene que, cuando se realizan los ajustes a la recomendación ITU-R P.1546-5, hay una mejora de 8 dB en la media aritmética de intensidad de campo, lo que da como resultado una diferencia menor a 1 dB entre las medias aritméticas de las mediciones y predicciones, ver tabla 5.10.

El rango de mejora con los ajustes es del 50 % obteniendo una diferencia menor al 6 %; es decir, un rango mayor de mediciones. Cuando se realizaron ajustes, en cuanto a la desviación estándar, hay una mejora de 10 dB produciendo una

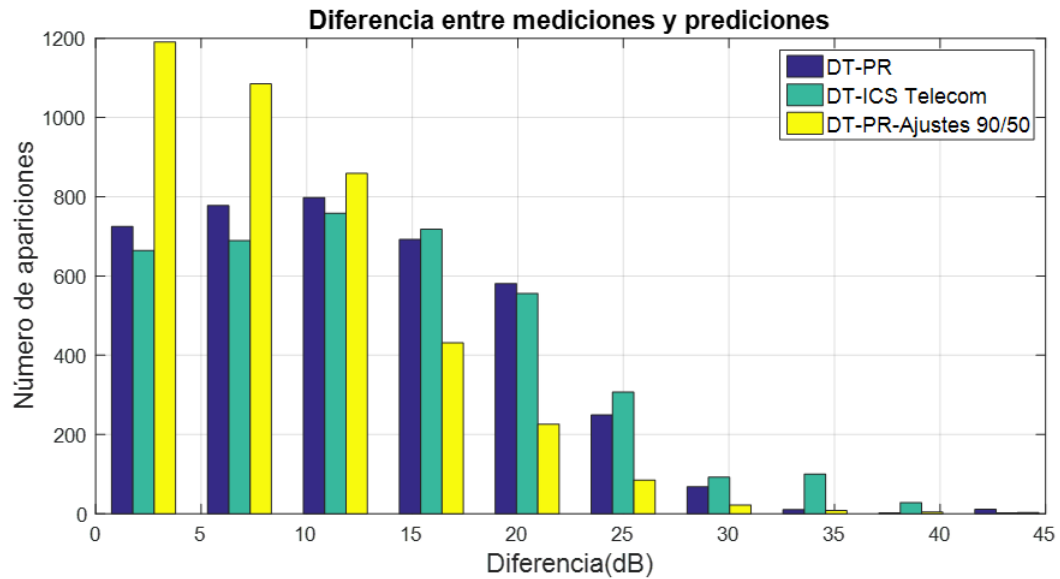


Figura 5.25: Histograma de errores absolutos.

diferencia del 13 % mejor a la del 61 % de la predicción inicial (ver tabla 5.11).

Un indicador estadístico importante es la correlación. La correlación alcanzada fue de 0,8, es decir, una mejora de 0,3 puntos respecto al valor inicial de 0,5. Esto implica una correlación fuerte y una relación más directa entre las mediciones y las predicciones del modelo en RadiUC. Estadísticamente las predicciones de la recomendación sin ajustes son similares a las predicciones de ICS-Telecom (ver tabla 5.11), a excepción de la correlación que es de 0,01 lo que implica una

	Media (dBm)	Desviación Estándar (dBm)
DT	-57,374	13,53
PR	-49,11	5,25
PR Patrón y Tilt	-57,47	15,26
PR 90 % 50 % sitios	-57,78	15,35
ICS	-60,58	7,51

Tabla 5.10: Cálculo de Indicadores estadísticos para los 3914 valores de las mediciones y las predicciones de la recomendación ITU-R P.1546-5.

	DT-PR	DT-PR 50 % 50 %	DT-PR 90 % 50 %	ICS Telecom
% Dif. Medias	14,404	0,16	0,71	5,59
Media error	12,2	8,68	8,75	13,36
% Dif. Desv. Estándar	61,207	12,74	13,24	44,54
Correlación	0,5	0,7	0,8	0,01
Error Cuadrático Medio	14,332	10,8	10,8	15,74

Tabla 5.11: Cálculo de Indicadores estadísticos para los 3914 valores de las mediciones y las predicciones de la recomendación ITU-R P.1546-5.

correlación negativamente fuerte.

Teniendo como parámetros los indicadores estadísticos calculados y expuestos en las tablas 5.10 y 5.11, el modelo se valida teniendo como aspectos la normativa vigente en el Ecuador para TDT, las comparaciones entre las predicciones realizadas en ICS-Telecom, el total de 3.914 muestras rasterizadas, la distribución de frecuencias y los indicadores estadísticos.

5.8.3.2. Validación en base a mediciones en puntos fijos

Para la validación en puntos fijos, se compara los valores de nivel de potencia obtenidos en las mediciones con los valores de las predicciones (simuladas en RadiUC e ICS telecom).

Para las simulaciones y de acuerdo a los datos expuestos en [29], se realizan nuevas predicciones aumentando la potencia de transmisión a 3.000 W y 3 metros de altura de la antena receptora. En la tabla 5.12 se presentan los valores de intensidad de campo para diferentes zonas de la ciudad de Quito medidas a través de la metodología descrita en el punto 4.5. Además se presentan valores de intensidad de campo para las predicciones de la recomendación ITU-R P.1546-5(PR), el modelo Okumura-Hata (OH), la recomendación ITU-R P.1546-5 ajustada y las predicciones del software ICS-Telecom.

Utilizando los datos expuestos en la tabla 5.12, se puede calcular la media

CAPÍTULO 5. PLANTEAMIENTO DEL MODELO AJUSTADO

# Muestra	Zona	Potencia Máxima Rx (dBm)	PR	OH	PR Ajustado 90-50	ICS Telecom
1	Las Orquídeas	-50,49	-53,53	-29,84	-53,77	-50,53
2	Balcon del Valle	-50,79	-30,12	-32,65	-30,41	-39
3	Nuevo Amanecer	-63,56	-36,76	-39,95	-49,94	-47
4	Chillogallo	-62,94	-39,22	-38,45	-48,88	-48,35
5	Mena de Hierro	-53,12	-37,03	-36,33	-43,41	-48
6	San Jose de Chilibulo	-62,39	-53,81	-35,28	-59,96	-52,78
7	San Sebastián	-59,27	-55,67	-32,13	-56,01	-54,49
8	La Ronda	-54,25	-27,03	-29,84	-27,33	-51
9	Primavera Alta	-43,06	-12,44	-17,53	-16,93	-66,26
10	Jipijapa	-42,40	-22,96	-25,96	-23,16	-48,81
11	La Bota	-64,80	-56,27	-32,68	-56,56	-45,96
12	Mena de Hierro	-53,12	-27,55	-30,8	-52,8	-45

Tabla 5.12: Mediciones y predicciones de intensidad de campo para diferentes zonas de Quito.

aritmética teniendo como resultado que, para las predicciones Okumura-Hata y la recomendación ITU-R P.1546-5 sin ajustes, la diferencia entre medias es mayor a 20 dB. En cambio, para la recomendación de la ITU-R P.1546-5 ajustada y la predicción del ICS Telecom, la diferencia es menor a 12 dB. Con respecto a la correlación las predicciones PR tiene una correlación de 0,5. Para OH y PR ajustado 90-50 la correlación es de 0,8, es decir, para estos casos cuando se realiza el ajuste la correlación tiende a ser positiva y fuerte. En cambio, para las predicciones del ICS Telecom la correlación es de -0,2, es decir, una correlación negativa y fuerte eso demuestra que las predicciones del ICS fueron diseñadas para garantizar la transmisión de una señal teniendo un rango de tolerancia para efectos de planificación.

A pesar de que el error es considerable debido a que son puntos críticos, las predicciones que se ajustan mejor a las mediciones en puntos fijos, teniendo como parámetro la media de intensidad y la correlación, son la recomendación ITU-R P.1546-5 ajustada desarrollada en [RadiUC](#) y la predicción del ICS Telecom.

CAPÍTULO 5. PLANTEAMIENTO DEL MODELO AJUSTADO

Con respecto al error cuadrático medio, las predicciones para la ITU-R P.1546-5 sin ajustes, el valor del error cuadrático medio es mayor a 20 dB. En cambio, el error cuadrático medio en las predicciones de la ITU-R P.1546-5 ajustada y del software ICS Telecom son menores a 16 dB siendo las predicciones que más se ajustan, considerando como parámetro de análisis el error cuadrático medio.

Las medidas se realizaron en puntos críticos [29], en zonas de sombra, en zonas densamente urbanas, zonas con bosques, etc. A pesar de que el modelo desarrollado considera zonas de sombra, el alcance del proyecto no es analizar específicamente Quito sino predecir la cobertura de TDT para Cuenca. De 12 puntos críticos, RadiUC predice el 50 % de los puntos mejor que ICS Telecom; las locaciones 3,4,6,7,11,12 (ver figura 5.26). Por otro lado, ICS Telecom predice mejor el 50 % de los puntos restantes (ver las locaciones 1,2,5,8,9,10 de la figura 5.26). Es decir, las predicciones de RadiUC e ICS Telecom producen un rendimiento similar para este tipo de mediciones.

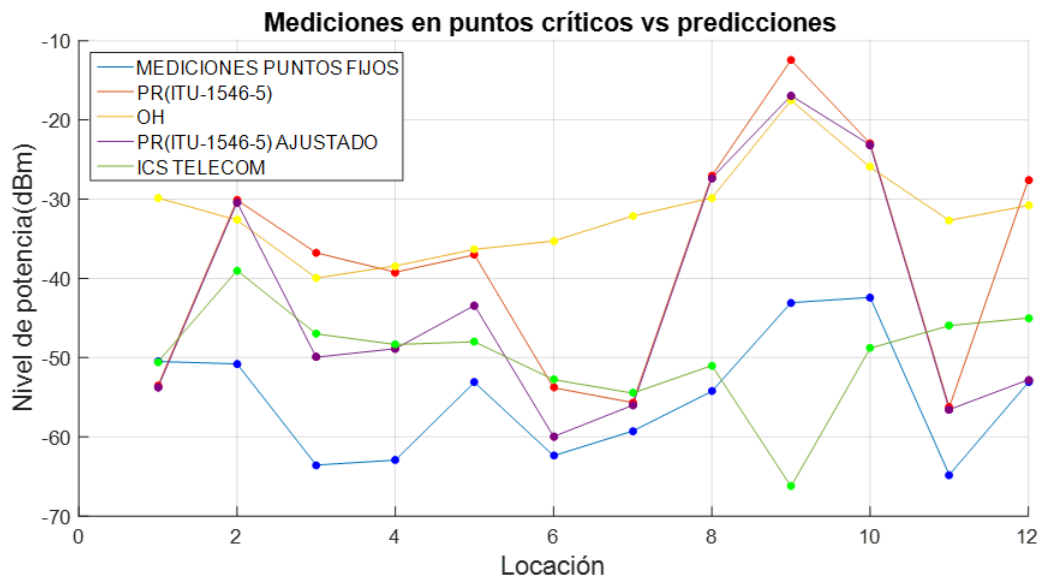


Figura 5.26: Comparación entre niveles de potencia medida en puntos fijos, predicciones de los modelos e ICS Telecom.

Sin embargo, RadiUC tiene una mejor respuesta para el resto de los puntos



CAPÍTULO 5. PLANTEAMIENTO DEL MODELO AJUSTADO

geográficos donde no existieron inconvenientes en las mediciones del DT. Esto valida efectivamente que [RadiUC](#) se puede utilizar para definir el área de cobertura de TDT en la banda UHF, además de que el modelo considera las normas y regulaciones para TDT vigentes en el Ecuador [18].

Resumen del Capítulo

En este capítulo se parte de dos modelos de predicción para señales de TDT: la recomendación ITU-R P. 1546-5 y Okumura-Hata, desarrollados de acuerdo a la metodología descrita en el capítulo 2 e implementados en el software [RadiUC](#), a través de simulaciones ejecutadas de acuerdo al capítulo 3. Además de esto se dispone datos de DT en las ciudades de Quito y Cuenca.

Se implementan algoritmos de depuración para procesar las mediciones, validando los datos que se van a usar. También se desarrolla algoritmos de rasterización de dichos datos. A través de las simulaciones, se obtienen archivos tipo Ráster, los cuales se procedieron a estimar el error entre valores medidos y predichos para zonas donde hay línea de vista y para zonas en donde no hay línea de vista. Finalmente, se realizó un procedimiento de validación que evidenció la reducción del error entre mediciones y predicciones. La validación tuvo como base: la georreferenciación, validación a través del software ICS telecom, validación de la normativa vigente en el Ecuador para TDT, validación en base a indicadores estadísticos y en comparaciones con medidas del DT.

Capítulo 6

Ubicación de Gap Fillers

En este capítulo se utiliza el modelo validado en la ciudad de Cuenca con los sitios en donde actualmente ya operan estaciones de TDT. Una vez obtenida la predicción, se analizan las zonas de sombra en donde los niveles de intensidad de campo son críticos; luego se escogen estos sitios para posibles ubicaciones de los Gap Fillers con la finalidad de evaluar las mejores opciones para recomendar la ubicación más óptima.

6.1. Gap Filler

Un “Gap-Filler” o llamado también reemisor es un dispositivo electrónico utilizado en las redes digitales de difusión para brindar cobertura a zonas en donde no hay niveles de potencia satisfactorios [36]. Una de las características principales de estos dispositivos es que permiten el despliegue de redes de frecuencia única (SFN) lo que implica un mejor aprovechamiento del espectro.

6.1.0.1. Características de un Gap-Filler

Es un tipo de repetidor que permite recibir una señal ISDB-Tb y retransmitirla en la misma frecuencia, es decir, las frecuencias de recepción y de transmisión son idénticas. Está conformado principalmente por una antena receptora, un repetidor y una antena transmisora (ver figura 6.1).

CAPÍTULO 6. UBICACIÓN DE GAP FILLERS

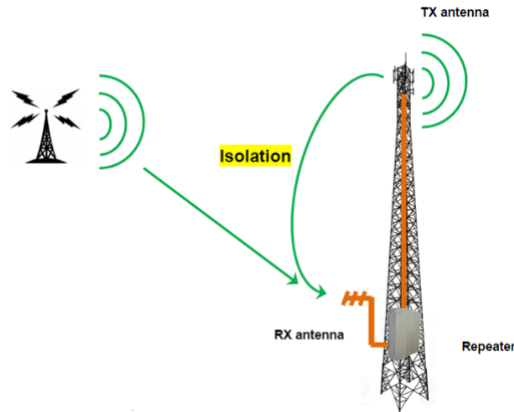


Figura 6.1: Esquematación de un Gap Filler. Tomado de <http://www.selecom.fr/en/tv-gapfiller>.

En el repetidor hay otros elementos de hardware y configuraciones de software importantes como el cancelador de eco [36].

- Convierte el canal de radiofrecuencia recibido a frecuencia intermedia. Una nueva conversión recupera el mismo canal de RF para la transmisión.
- De manera general, un Gap Filler está estructurado por una antena receptora y transmisora, una etapa de ganancia, y retroalimentación (ver figura 6.2).



Figura 6.2: Esquema de un Gap-Filler.

- Para tener un correcto funcionamiento del Gap Filler es importante que el receptor esté correctamente dispuesto ya que los efectos de dispersión temporal no corregida puede acumularse y degradar paulatinamente la calidad de señal.

- Las zonas de sombra para las que generalmente se utilizan los Gap Fillers podrían ser en sótanos, estaciones de metro, zonas de sombra bajo puentes, zonas de sombra en edificaciones como rascacielos, zonas obstruidas por una colina y montañas.

6.1.1. Ventajas de un Gap Filler

Una de las principales ventajas es su bajo costo y consumo de energía eléctrica. Otra de las ventajas es su sencilla instalación, ya que únicamente requiere de antenas de transmisión y recepción. Si el Gap Filler regenera la señal, la instalación es más compleja [13]. Hay equipos que tienen la capacidad de procesar más de un canal lo cual se verá reflejado en el precio. Otra ventaja es que evita la red de transporte hasta el emplazamiento. Debido a esto, en la planificación de ubicación se debe tener en cuenta que entre el transmisor principal y el receptor del Gap Filler debe haber potencia recibida suficiente. Por ejemplo, para el caso de la normativa en Ecuador se debería garantizar que al receptor del Gap Filler llegue una intensidad de campo mínima de $51 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$.

6.1.2. Tipos de Gap Filler

Por sus características de potencia, existen tres tipos de Gap-Fillers:

- **Gap Filler de pequeña potencia:** Son aquellos cuya potencia de transmisión oscila entre los 100mW-5W RMS. Son para uso doméstico.
- **Gap Filler de mediana potencia:** Tienen una capacidad de transmisión de entre 5W-25W RMS, para uso corporativo o institucional.
- **Gap Filler de alta potencia:** Aquellos cuya potencia de transmisión es mayor a 50 W RMS, para uso profesional.

Para el uso de cualquier Gap Filler es necesario tener en cuenta el aislamiento entre antenas transmisora y receptora, para poder aumentar la potencia, este aislamiento está dado por la distancia entre las antenas horizontal y vertical y las

direcciones de máxima radiacion [13].

En la ciudad de Cuenca se presentan zonas de sombra debido a colinas y zonas montañosas.

Para la ubicación de un Gap Filler se debe garantizar un nivel mínimo de señal en la antena receptora. Debido a esto y de acuerdo con la normativa vigente en el Ecuador la ubicación del Gap Filler será en una zona con un nivel de intensidad de campo mayor a $51 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ lo que corresponde a una potencia mayor a -71 dBm para una antena con ganancia $11,75 \text{ dBi}$ y una frecuencia de $671,1428 \text{ MHz}$.

6.2. Sistema de repetición de señal de TDT

Los parámetros técnicos de los equipos que se van a utilizar para realizar la simulación de los Gap Fillers corresponden a especificaciones técnicas de equipos disponibles en el mercado.

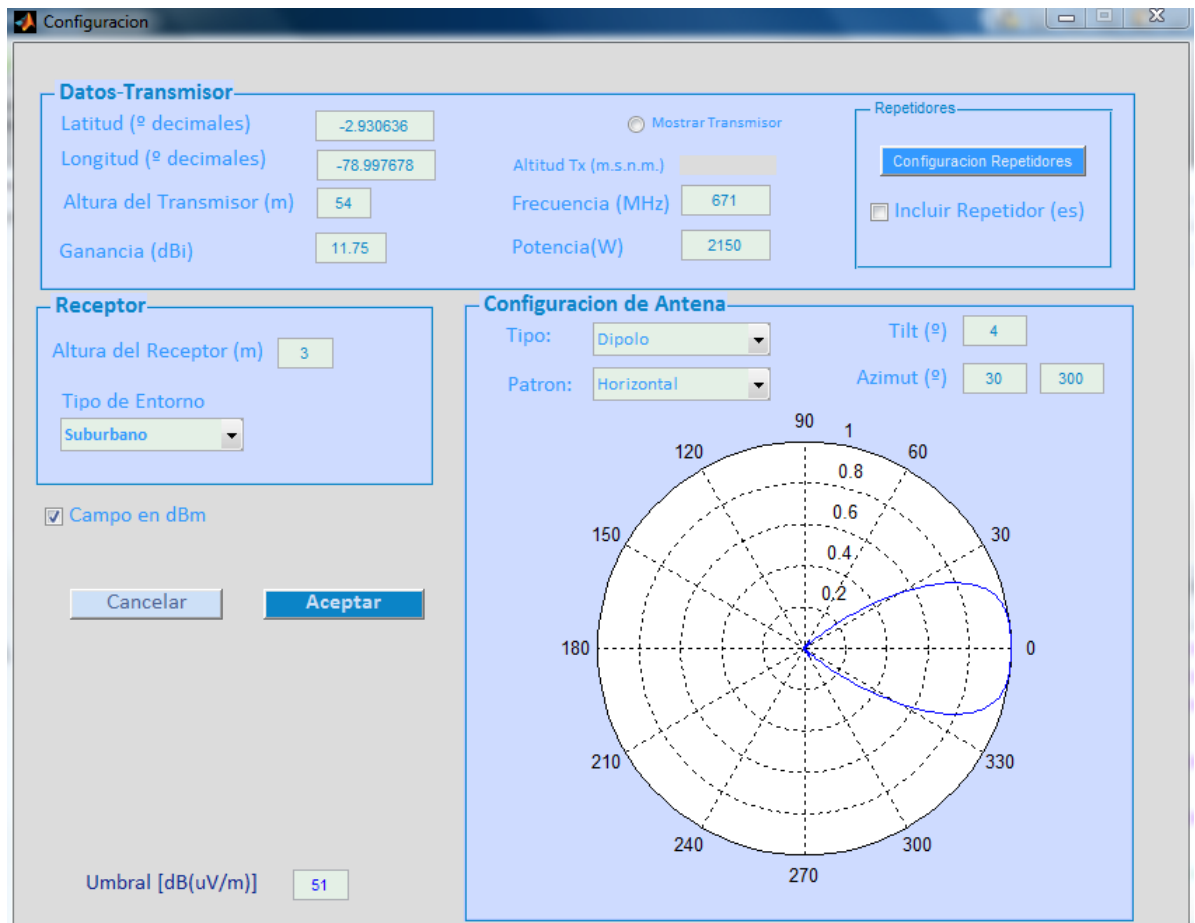
El tipo de Gap Filler que se utiliza en el presente proyecto es de tipo corporativo, con una potencia de 60 Wrms , con las características definidas en el anexo F, conectado a dos paneles de una bahía o arreglo tipo dipolo con las características técnicas definidas en el anexo C.

6.3. Simulación considerando ubicaciones actuales

Se utilizan las características técnicas de las antenas para TDT descritas en la tabla 4.6, la antena receptora a una altura de 3m . Con el objetivo de comprobar las mejoras en las predicciones se modifican los parámetros de la tabla 3.9, cambiando a datos con datos de los Gap Fillers, para verificar los niveles de potencia en las 15 parroquias urbanas de Cuenca detalladas en la tabla 3.11.

CAPÍTULO 6. UBICACIÓN DE GAP FILLERS

Al software [RadiUC](#) se ingresan los siguientes parámetros: altura de la antena transmisora, altura de la antena receptora, *tilt*, *azimuts*, patrón de radiación, frecuencia, potencia radiada efectiva (ver figura 6.3).



The screenshot shows the 'Configuracion' window of the RadiUC software. It is divided into several sections:

- Datos-Transmisor:**
 - Latitud (° decimales): -2.930636
 - Longitud (° decimales): -78.997678
 - Altura del Transmisor (m): 54
 - Ganancia (dBi): 11.75
 - Altitud Tx (m.s.n.m.): (empty field)
 - Frecuencia (MHz): 671
 - Potencia(W): 2150
 - ☐ Mostrar Transmisor
- Repetidores:**
 - [Configuracion Repetidores](#)
 - ☐ Incluir Repetidor(es)
- Receptor:**
 - Altura del Receptor (m): 3
 - Tipo de Entorno: Suburbano (dropdown menu)
 - ☒ Campo en dBm
- Configuracion de Antena:**
 - Tipo: Dipolo (dropdown menu)
 - Patron: Horizontal (dropdown menu)
 - Tilt (°): 4
 - Azimut (°): 30 and 300 (input fields)
- Umbrales:**
 - Umbrales [dB(uV/m)]: 51
- Buttons:** Cancelar, Aceptar

On the right side of the 'Configuracion de Antena' section, there is a polar plot showing the radiation pattern. The plot has concentric circles representing power levels (0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1) and radial lines for azimuth angles (0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330). A blue curve is drawn on the plot, indicating the radiation pattern for the configured antenna.

Figura 6.3: Configuración del sistema de transmisión en RadiUC.

La respuesta gráfica de la predicción que se obtiene con [RadiUC](#) contiene más detalles de niveles de potencia que la primera simulación realizada para Cuenca (ver figura 3.15).

El color azul en el gráfico es un indicador de zonas en donde los niveles de potencia son bajos, en cambio, los colores rojizos indican niveles de potencia mayores (ver figura 6.4).

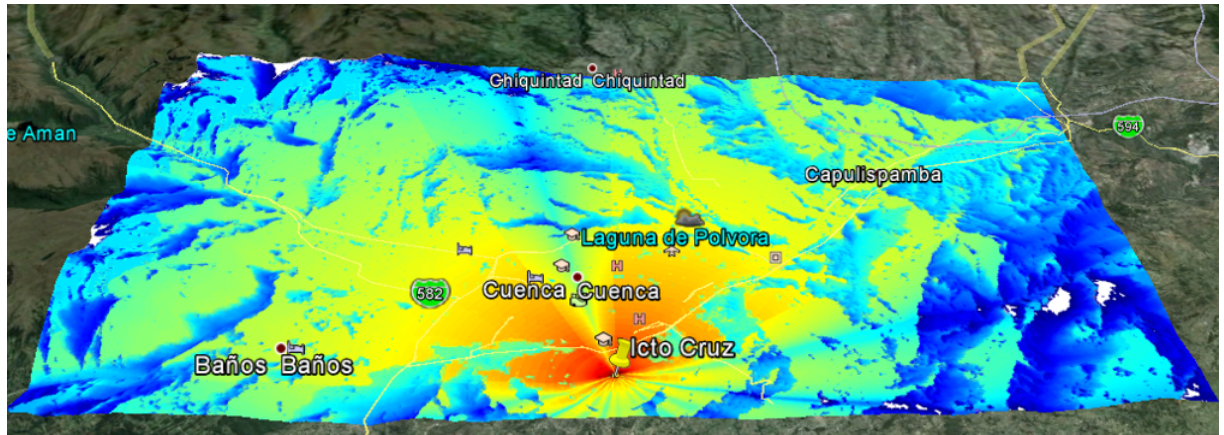


Figura 6.4: Gráfico de los niveles de potencia dBm para Cuenca de acuerdo al modelo validado simulado en RadiUC.

6.4. Ubicación de nuevos sitios para Gap Fillers de TDT

6.4.1. Definición de zonas con bajo nivel de señal

Como una consideración importante, se toma en cuenta que la zona, donde se ubica el Gap Filler, abarque un área mayor a 4 km^2 .

Teniendo en cuenta una potencia recibida de -71 dBm , la predicción señala tres zonas de sombra: el sector Carmen de Sinincay (Z_{s1}), el sector de Bellavista (Z_{s2}) y el sector de Chaullabamba (Z_{s3}) (ver figura 6.5).

6.4.2. Posibles ubicaciones para Gap Fillers

La ubicación de Gap Fillers permite ampliar la cobertura a zonas de sombra. Hay algunas consideraciones importantes para definir su ubicación [37]:

- Que exista vía de acceso a la ubicación.

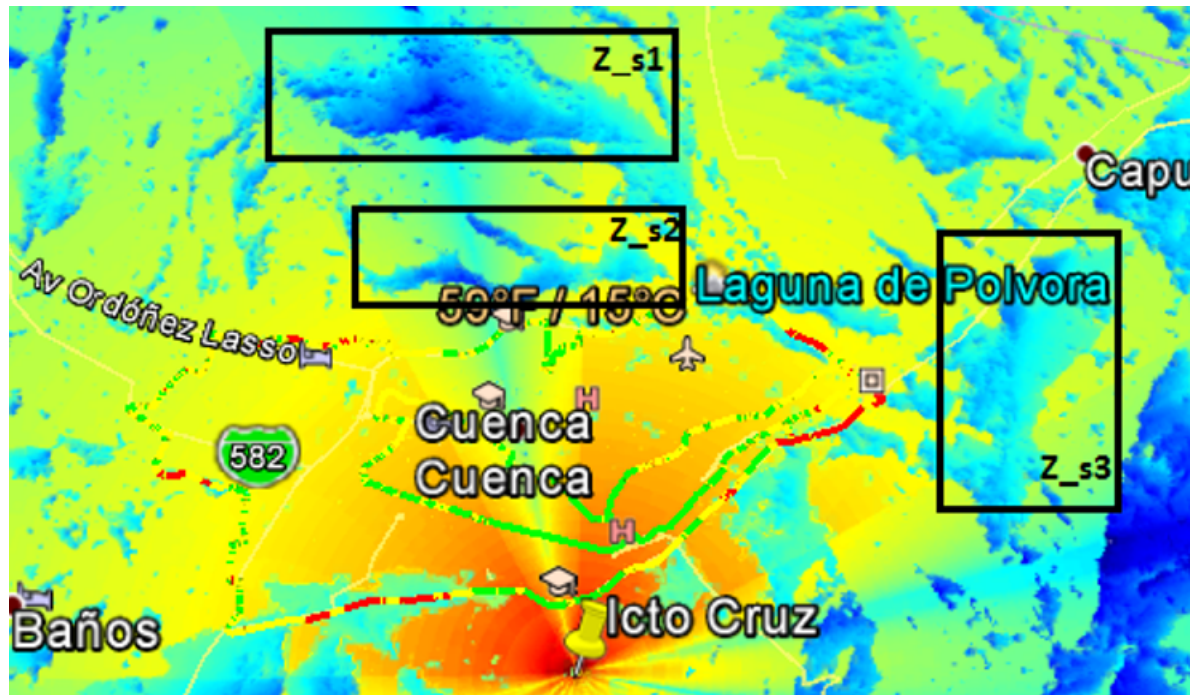


Figura 6.5: Zonas con bajo nivel de potencia en la zona urbana y suburbana de Cuenca.

- Que exista línea de vista con respecto a la zona en donde se pretende mejorar la cobertura.
- Que la ubicación del Gap Filler no esté alejada más de 500 metros de la zona a mejorar cobertura.
- Buscar el mayor aislamiento entre las antenas y la maximización de la señal recibida.
- Separación entre antena receptora y transmisora será mayor a 15 m.
- Tratar de apuntar las antenas transmisora y receptora hacia lados opuestos.

Con los criterios señalados, se consideran posibles zonas de ubicación de los Gap Fillers. Para esos sitios se debe asegurar un mínimo nivel de potencia de -71 dBm que esta 10 dB por encima del nivel de sensibilidad del Gap Filler (ver anexo F). Para cubrir la zona Z_s1 correspondiente al Carmen de Sinincay se coloca el

CAPÍTULO 6. UBICACIÓN DE GAP FILLERS

Gap Filler con las características descritas en la tabla 6.1

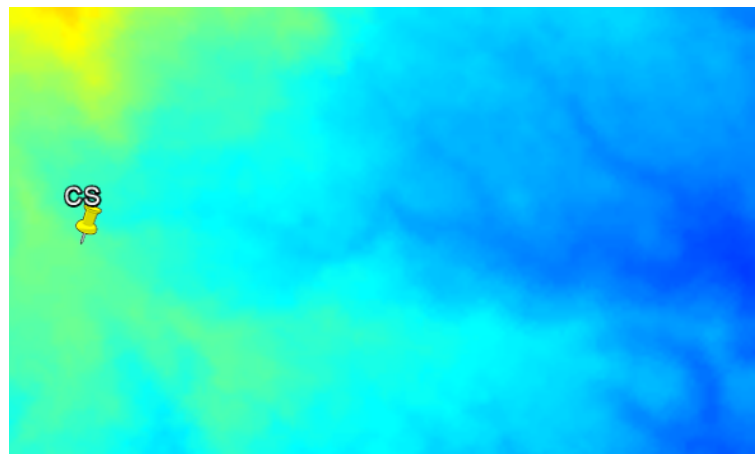
Latitud	$-2,854290^{\circ}$
Longitud	$-79,036095^{\circ}$
Área a cubrir	8 Km^2
Altura m.s.n.m	2880 m
Altura de antena transmisora	18 m
Azimut	95°
Tilt	10°
Modelo	RDE9151
Potencia	150 W
Ganancia	10,55 dBi

Tabla 6.1: Ubicación del Gap Filler para la zona Z_{s1}.

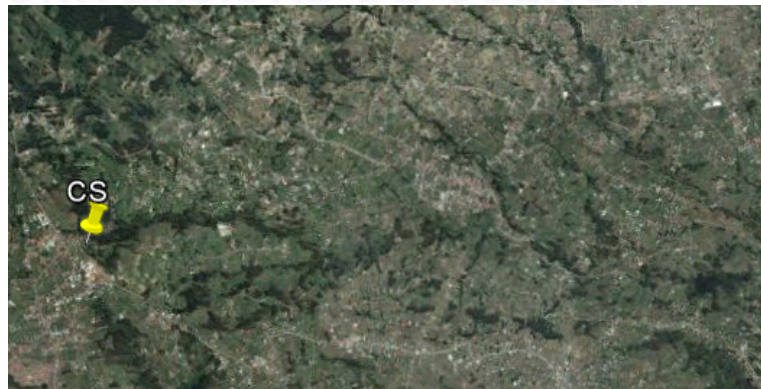
En el sitio seleccionado (ver figura 6.6) la intensidad de potencia en esa zona es de -67 dBm, que es mayor al mínimo requerido; y seguramente en la práctica tendrá un mayor nivel de potencia ya que la antena receptora se ubicaría a una altura mayor a 3 m.

Para la ubicación del segundo Gap Filler se consideraron varias opciones, optando por un sitio en donde la altura permite tener línea de vista directa con las zonas donde la intensidad de campo es más crítica. El nivel de potencia recibida estimada en el receptor del Gap Filler es de -66 dBm, 14 dB más que el nivel de sensibilidad del equipo. Las características de este Gap Filler se detallan en la tabla 6.2.

La figura 6.7, muestra la posible ubicación del segundo Gap Filler en el sector de Carmen de Bellavista. El tercer Gap Filler se ubica en una zona alta con la finalidad de tener línea de vista directa con una gran extensión de terreno; además, el nivel de potencia en el punto donde se ubica el Gap Filler es de -69 dBm lo que cumple con la sensibilidad del equipo receptor (ver anexo F). Las características y el área a cubrir de este Gap Filler se muestra en la tabla 6.3 y la figura 6.8 respectivamente.



(a) Ráster



(b) Google Earth

Figura 6.6: Ubicación del Gap Filler para el sector Carmen de Sinincay (Z_{s1}).

Latitud	$-2,880375^{\circ}$
Longitud	$-79,002676^{\circ}$
Área a Cubrir	5 Km^2
Altura m.s.n.m	2673 m
Altura antena transmisora	20 m
Azimut	$80^{\circ}, 275^{\circ}$
Tilt	5°
Modelo	RDE9500
Potencia	60 W
Ganancia	10.55 dBi

Tabla 6.2: Ubicación del Gap Filler para la zona Z_{s2}.

Latitud	$-2,878479^{\circ}$
Longitud	$-79,027640^{\circ}$
Área a Cubrir	1 Km^2
Altura m.s.n.m	2673 m
Altura Gap Filler	12 m
Azimut	30°
Tilt	5°
Modelo	RDE9151
Potencia	150 W
Ganancia	10,55 dBi

Tabla 6.3: Ubicación del Gap Filler para la zona Z_{s3}.

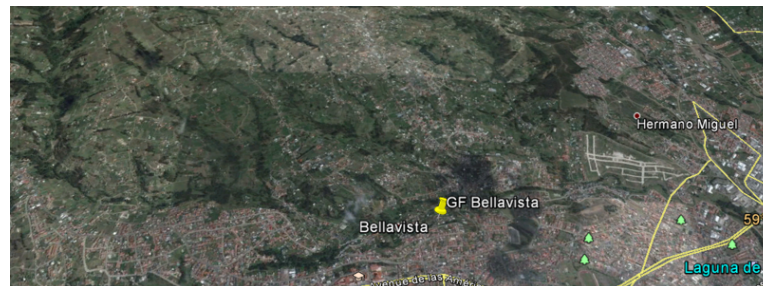
6.5. Análisis comparativo de los sitios de cobertura para la señal de TDT

Se busca constatar que el área de cobertura ha mejorado significativamente. El procedimiento seguido tiene dos etapas. En la primera se evalúa, en las zonas con bajos niveles de señal, cuando se incremente la potencia de 200W, que es la potencia con la que se está transmitiendo actualmente, a 2.150 W (ver tabla 6.4). En la segunda etapa, luego de incrementar la potencia, se analiza el efecto sobre la cobertura al añadir Gap Fillers en zonas de sombra o con bajos niveles de señal descritas en la sección 6.4.2.

CAPÍTULO 6. UBICACIÓN DE GAP FILLERS



(a) Ráster



(b) Google Earth

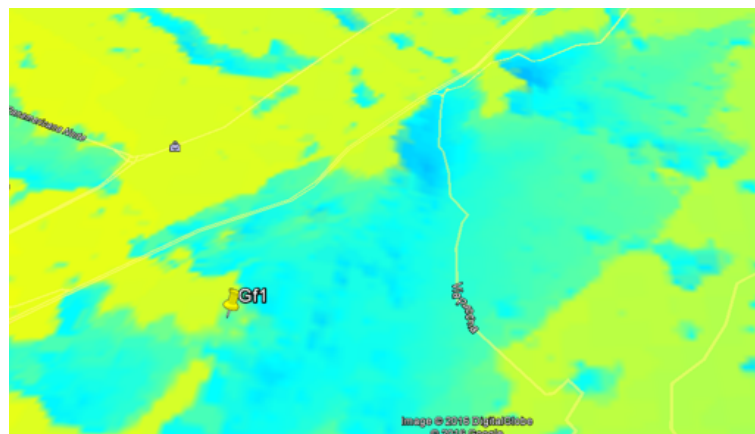
Figura 6.7: Ubicación del Gap Filler para el sector Carmen de Bellavista(Z_s2).

Para el análisis de cobertura se analiza un total de $158,8225 \text{ Km}^2$. Se analizan las muestras correspondientes al nivel de potencia en un cuadrado de 30 m de lado. En esa área hay un total de 176.475 puntos, cada punto tiene su nivel de potencia (ver figura 6.9).

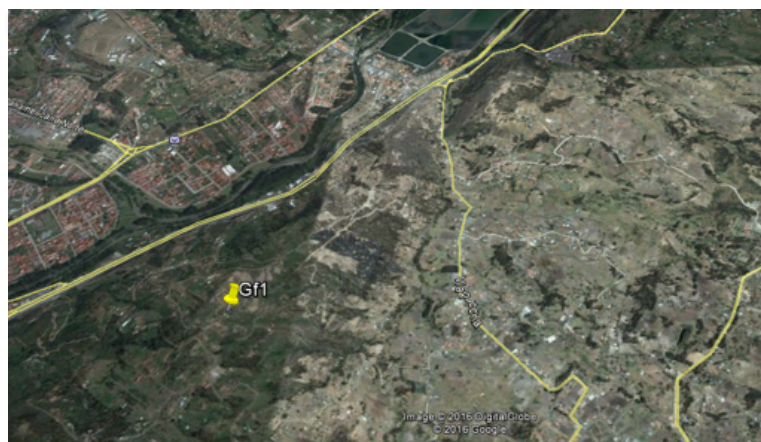
Se analizan 4 casos descritos a continuación.

- Nivel de potencia por debajo de la norma:** Con respecto a la norma vigente para TDT se analizan los puntos en la ciudad de Cuenca, en donde el nivel de potencia es igual o está por debajo a -71 dBm correspondientes a $51 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$. Se analiza la cantidad de valores por debajo de la norma para evaluar el aumento de potencia luego de la integración de los Gap Fillers al sistema.
- Nivel de potencia de hasta 10 dB mayor a la norma:** Se analizan los puntos en donde el nivel de potencia está a un valor de 10 dB por encima de la

CAPÍTULO 6. UBICACIÓN DE GAP FILLERS



(a) Ráster



(b) Google Earth

Figura 6.8: Ubicación del Gap Filler para el sector Chaullabamba (Z_s3).

CAPÍTULO 6. UBICACIÓN DE GAP FILLERS

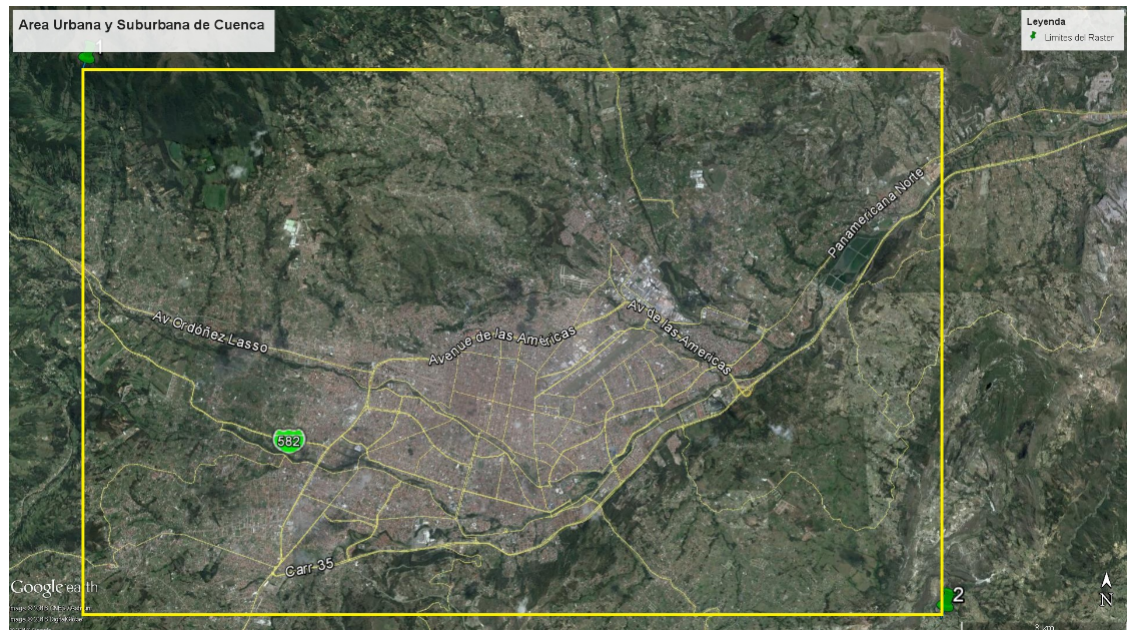


Figura 6.9: Borde del área del MDE de Cuenca Urbano, Suburbano y parte de la zona Rural.

Potencia dBm	Potencia 200W	Potencia 2150 W	GF Bellavista	GF Sinincay	GF Chaullabamba
$P \leq -71$	79370	41109	37316	7876	7092
$-71 \leq P \leq -61$	70446	28939	31655	24799	21103
$-71 \leq P \leq -51$	21980	67191	69875	68052	63003
$P > -51$	4679	39236	41430	77377	86906

Tabla 6.4: Rangos de valores para predicciones con Gap Fillers.

norma, para estos puntos de acuerdo a la norma para TDT habría una señal estable.

- c) **Nivel de potencia de óptimos:** Se analizan los puntos en donde se garantiza una buena señal de TDT.
- d) **Nivel de potencia cobertura máxima:** Se considera la cantidad de puntos para los que la señal de TDT estaría muy por encima de la norma estos niveles pueden servir para evaluar las ventajas y desventajas del aumento de potencia en un transmisor de TDT.

Para todos los puntos en el MDE se evalúa su nivel de potencia obteniendo el

CAPÍTULO 6. UBICACIÓN DE GAP FILLERS

número de muestras para cada nivel de potencia. Cada una representa 900 m^2 porque el área de cobertura para cada rango de potencia está definida por el número de puntos de la tabla 6.4 multiplicado por 900 m^2 . Con respecto a la situación actual del transmisor de Ecuador TV se tiene que para el MDE con características definidas en la tabla 6.4, hay un 45 % de zonas con niveles de señal por debajo de la norma lo que implica que aproximadamente la mitad de Cuenca no tiene señal de TDT.

Otra de las características donde sólo el 40 % esté a 10 dB por encima de la norma, lo que necesariamente se tiene que considerar en la planificación de cobertura de TDT. Se evalúa también que el 12 % tendría la cobertura asegurada; trasladándolo a hogares esto implicaría que actualmente solo el 12 % de Cuenca tiene señal de TDT asegurada y el 3 % de valores muy superiores a los establecidos en la norma (ver figura 6.10).

Porcentaje de valores con respecto al nivel de Potencia

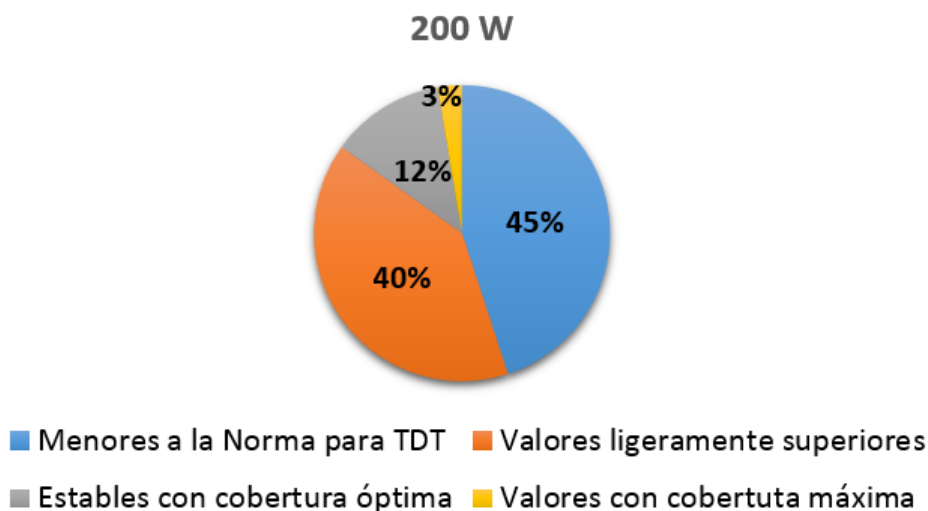


Figura 6.10: Gráfico del proporción de cobertura en Cuenca con un transmisor de 200W.

El efecto que tiene el aumento de potencia de 2.150 W del sistema de transmisión y de modificar las antenas utilizadas a antenas con características definidas en la tabla 4.6, representa una mejora del 24 % en el área de cobertura, es decir,

CAPÍTULO 6. UBICACIÓN DE GAP FILLERS

que el 21 % del área definida en la figura 6.9 no tendría señal de TDT. Se establece que el 79 % del área definida en la figura 6.9 tendría señal de TDT (ver figura 6.11).

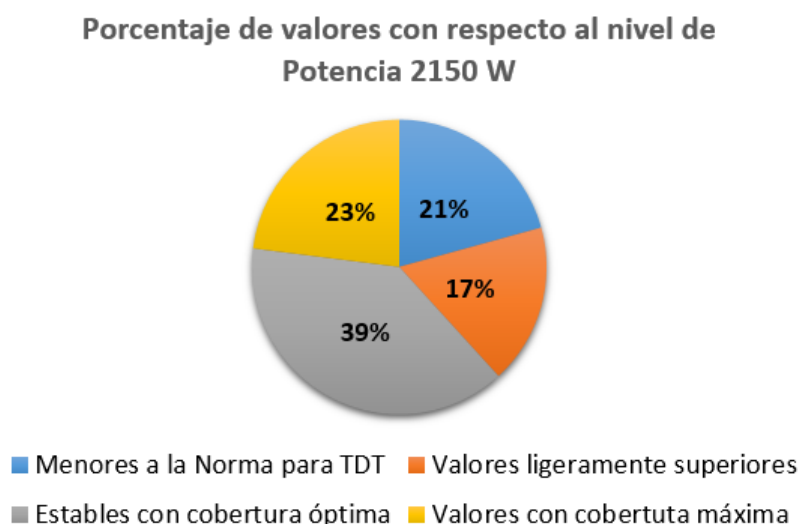


Figura 6.11: Gráfico de la proporción de cobertura en Cuenca con un transmisor de 2150W.

Cuando se añade el Gap Filler correspondiente a la zona de Bellavista Zs_2, hay un aumento en el área de cobertura de $4,4308 \text{ Km}^2$ (ver figura 6.12). Si se añade al sistema de transmisión, el Gap Filler correspondiente a la zona de Sinincay Zs_1, hay un aumento de $3,1878 \text{ Km}^2$ en el área de cobertura (ver figura 6.13). Por último, al añadir el Gap Filler correspondiente a la zona de Chaullabamba Zs_3, se incrementa $3,4282 \text{ Km}^2$ el área de cobertura, ver figura 6.14.

Con los 3 Gap Fillers se garantiza una cobertura para el 82 % del área analizada. Con respecto a la situación original (figura 6.11), en donde casi la mitad del área analizada no tiene señal de TDT, hay una mejora del 27 % para zonas donde antes no había cobertura, una mejora del 23 % para zonas donde la señal es 10 dB superior a lo establecido en la norma, una mejora del 29 % para zonas con cobertura óptima, y finalmente una mejora del 21 % para zonas con señal 20dB superior a la norma (ver figura 6.12).

CAPÍTULO 6. UBICACIÓN DE GAP FILLERS

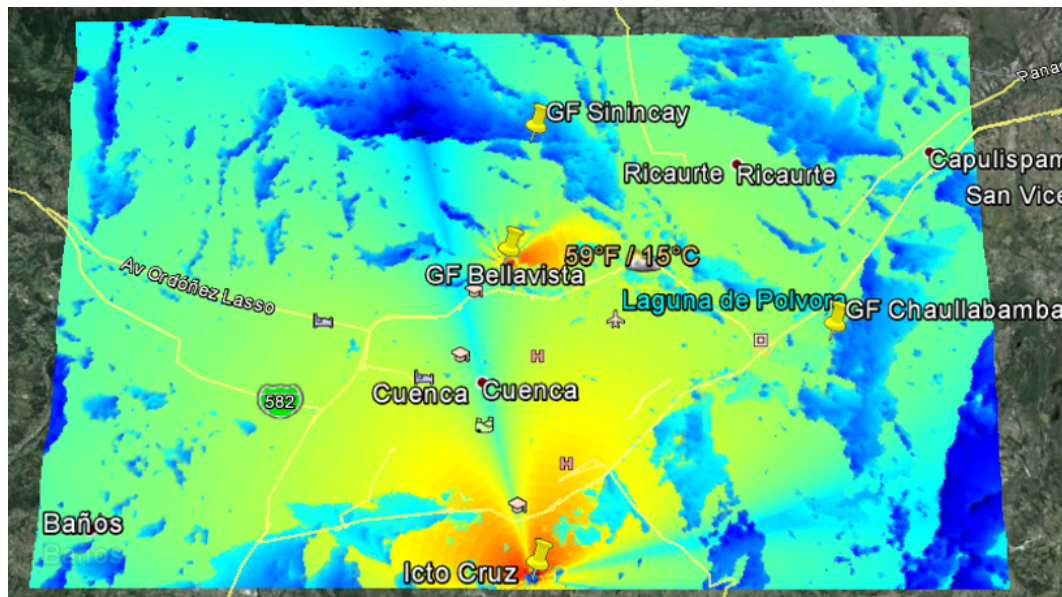


Figura 6.12: Predicción de cobertura con un transmisor de 2150 W y un Gap Filler en el sector de Bellavista.

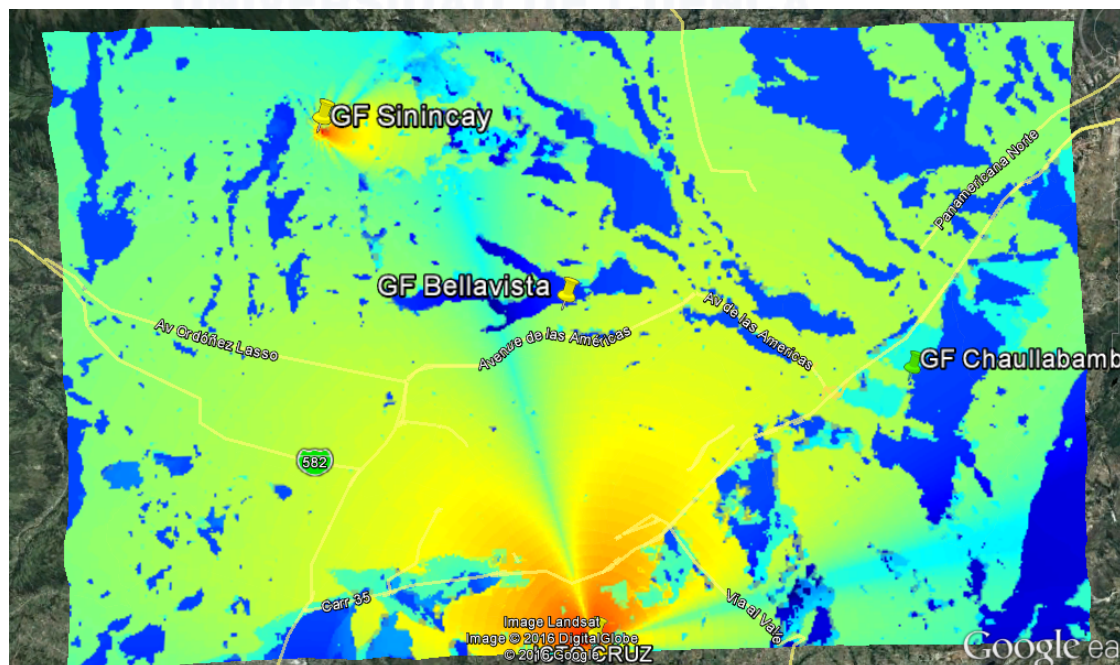


Figura 6.13: Predicción de cobertura con un transmisor de 2.150 W y un Gap Filler en el sector de Sinincay.

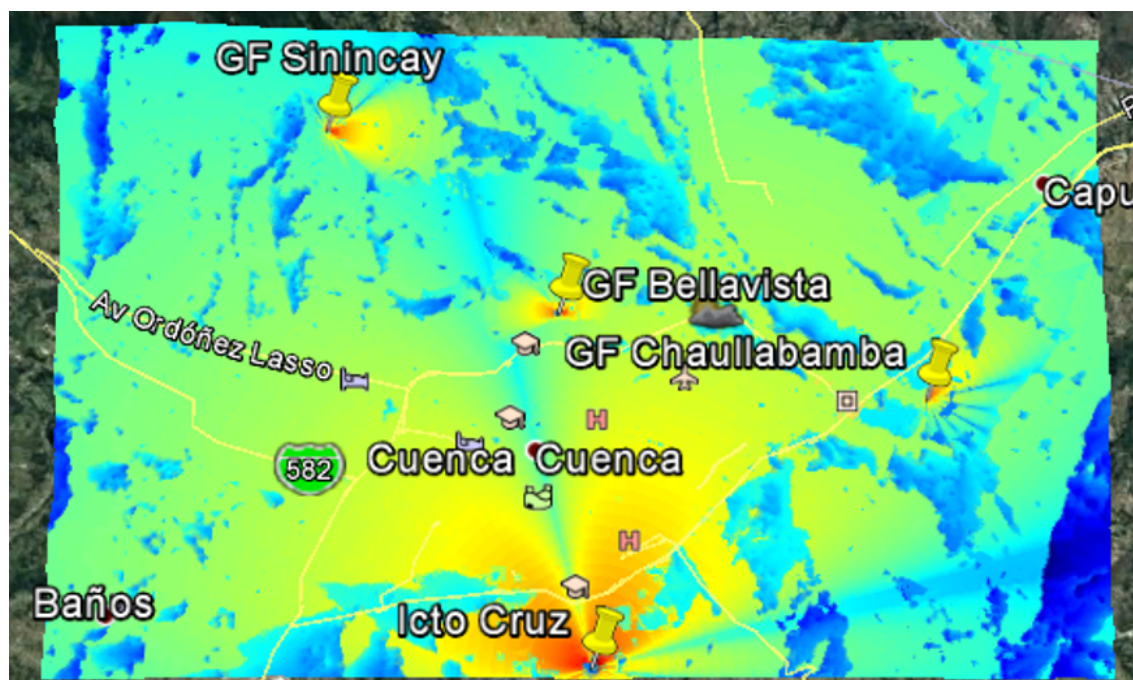


Figura 6.14: Predicción de cobertura con un transmisor de 2.150 W y un Gap Filler en el sector de Chaullabamba.

El modelo ajustado se ha simulado para las características de transmisión actuales de la estación de Ecuador TV. Cuando se ha aumentado la potencia, se tiene una mejora en el área de cobertura. Luego de añadir los Gap Fillers, se puede observar una mejora en la predicción que se comprueba con los datos de las gráficas de proporción y los datos del cálculo del área de cobertura detallados en la tabla 6.5.

6.6. Estimación de niveles de potencia para interiores

Como análisis complementario, se plantea corregir la predicción mediante una penalización en la intensidad de campo recibida; con el fin de tener una certeza en el nivel de señal para una antena en el interior de una vivienda. Este análisis es necesario debido a que en la mayoría de casos, las personas, no disponen de

Área por niveles de potencia

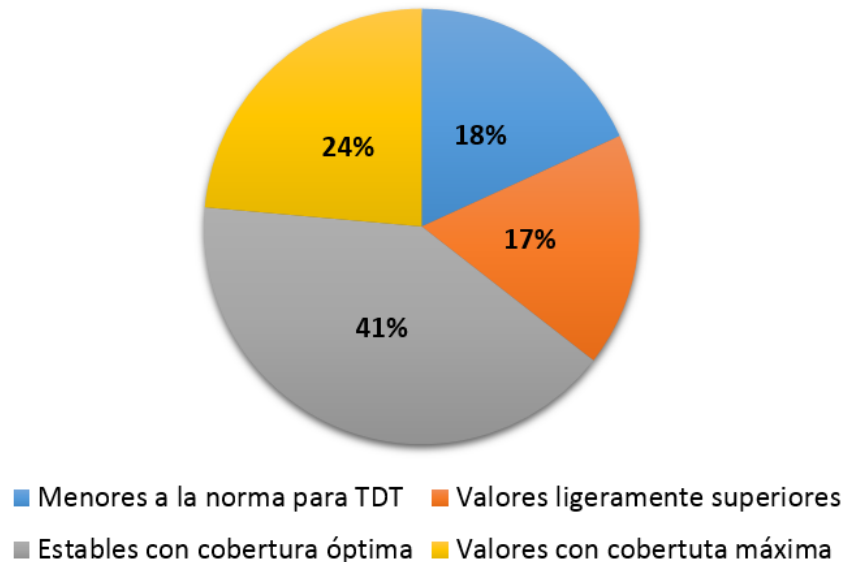


Figura 6.15: Gráfico de la proporción de cobertura en Cuenca con un transmisor de 2.150W y el GF en Bellavista, GP Sinincay y GF Chaullabamba.

antenas exteriores.

Existen diversos estudios en donde se analizan las pérdidas de las señales al atravesar diversos tipo de materiales. Sin embargo, dichos estudios generalmente se enfocan en frecuencias desde los 2,4 GHz en adelante. Estos análisis no servirían para señales de TDT debido a la diferencia de frecuencias.

Finalmente, para introducir penalizaciones a la predicción para interiores, se recurre al análisis de pérdidas para señales de televisión [38]. En dichos análisis, se concluyen que las pérdidas aproximadas, para señales de televisión, son de 8 dB. Al incluir estas pérdidas, a la predicción con los Gap Fillers, lógicamente el área de cobertura disminuye. Se tiene que los niveles menores a la norma de TDT aumentan un 18 %, es decir, que el porcentaje de áreas de sombra aumentan de 18 % a 36 % (ver figuras 6.16 y 6.15). El resumen para distintos escenarios en el interior de las viviendas (introducción de Gap Fillers, disminución de potencia, etc.), se detallan en la tabla 6.6.

CAPÍTULO 6. UBICACIÓN DE GAP FILLERS

Potencia dBm	Potencia 200W	Potencia 2150 W	GF Bellavista	GF Bellavista + Sinincay	GF Bellavista + Sinincay + Chaulabamba
$P \leq -71$	71,43 Km^2	36,99	36,98	32,90	29,48
$-71 \leq P \leq -61$	63,44 Km^2	26,05	26,69	27,49	28,19
$-71 \leq P \leq -51$	19,78 Km^2	60,47	62,8875	64,23	66,330
$P > -51$	4,21 Km^2	35,31	36,63	67,62	38,28

Tabla 6.5: Área de cobertura en base a niveles de potencia

Potencia dBm	Potencia 200W	Potencia 2150W	GF Bellavista + Sinincay + Chaulabamba (Final)
$P \leq -71$	128,74 Km^2	59,11	50,56
$-71 \leq P \leq -61$	26,36 Km^2	54,42	59,83
$-71 \leq P \leq -51$	5,28 Km^2	39,11	41,61
$P > -51$	0,89 Km^2	9,61	10,24

Tabla 6.6: Área de cobertura en base a niveles de potencia para interiores.

Área por niveles de potencia interiores

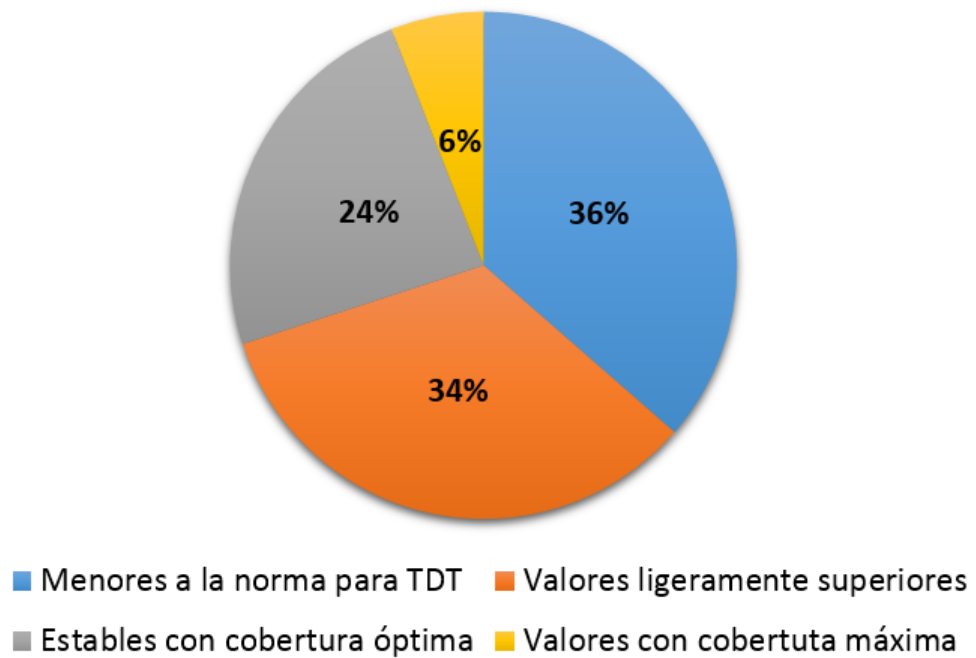


Figura 6.16: Gráfico de proporciones para la cobertura en interiores.

Capítulo 7

Conclusiones y Recomendaciones

En este capítulo se exponen las conclusiones, y recomendaciones generadas durante el desarrollo del trabajo.

7.1. Conclusiones

Los resultados obtenidos en el presente trabajo, así como la experiencia adquirida durante la ejecución del mismo nos permite expresar las siguientes conclusiones:

- El modelo más eficiente para la predicción de intensidad de señal recibida para televisión digital terrestre sujeto al estándar ISDB-Tb, y bajo la normativa ecuatoriana vigente, es la Recomendación ITU 1546-5 ajustada con los parámetros descritos en la sección 5.7. Utilizando la predicción del software RadiUC y comparando este resultado con las mediciones, se llega a una diferencia porcentual del 0.71 %, logrando una correlación fuerte entre predicciones y mediciones de 0,8.
- Al aplicar los ajustes descritos en el capítulo 5, se pasó de un 14 % a un 0,71 % en las diferencias de las medias aritméticas entre mediciones y predicciones. El porcentaje de diferencia de la desviación estándar mejoró un 49 %, la correlación subió de 0,5 a 0,8 y el error cuadrático medio se redujo

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

en 3,53 dB llegando a 10,8 dB. Finalmente, la media del error se redujo un 3,45 dB llegando a 8,75 dB (ver tabla 5.11).

- El software **RadiUC** desarrollado en Matlab permite la simulación de un modelo ajustado para propagación de señales de televisión digital terrestre basado en la recomendación ITU-R P.1546-5. La simulación requiere de un modelo digital de elevaciones tipo ráster, y la configuración del sistema de transmisión. Además de la predicción para una señal de TDT, el software es aplicable para señales de televisión abierta analógica, sistemas de radio en frecuencia modulada y otras señales de radio frecuencia en el rango de 30 a 3.000 MHz.
- De acuerdo con la estimación realizada en la sección 3.2, y la predicción de la sección 6.2, si se instalan los Gap Fillers propuestos en el capítulo 6, la cobertura alcanza un 82 % de la población de la ciudad de Cuenca. Esto permitirá que la ciudadanía se beneficie con una señal de TDT abierta de alta calidad garantizando una transmisión para el 90 % del tiempo y el 50 % de los sitios de recepción.
- En el capítulo cinco, se parte de un software de simulación y un conjunto de mediciones para a través de análisis, se desarrollen métodos técnicos de reducción de errores. Estos métodos permitieron que para zonas en donde no hay línea de vista se garantice un 60 % de eficiencia en la predicción, y para zonas en donde hay línea de vista un error menor a 1 dB.
- El modelo ajustado se analizó en función de los límites de intensidad de campo eléctrico para transmisiones de TDT en el Ecuador. A su vez, se comparó con simulaciones en ICS Telecom obteniendo 13,36 y 15,74 dB en la media de error y error cuadrático medio respectivamente. Además se obtuvo una correlación de 0,01. Finalmente, los resultados se validaron con mediciones masivas obtenidas con el sistema SACER en Quito y Cuenca, y mediciones de puntos fijos críticos en la ciudad de Quito.
- El análisis estadístico de los datos correspondientes a las mediciones realizadas a través del sistema SACER de ARCOTEL dieron como resultado

similitudes entre mediciones del Drive Test y mediciones en puntos fijos para Quito, sección 5.5, y las predicciones en el software [RadiUC](#). Para el caso de Cuenca, en cuanto a la distribución de frecuencias, los valores de tendencia central son similares para los obtenidos en Quito. En la predicción del modelo la tendencia central estuvo en -61 dBm y la tendencia central de la recomendación ITU1546-5 es de -60 dBm, es decir, alrededor de 1 dB de diferencia. Para el caso de Cuenca, la tendencia central de las mediciones es -58dBm mientras que con la predicción es de -56dBm, es decir, alrededor de 2dB de diferencia. Con respecto a los indicadores estadísticos hay una similitud evidente entre resultados obtenidos para Quito y Cuenca lo que implica que el comportamiento de la predicción es similar para las dos zonas geográficas.

- El modelo, basado en la recomendación ITU-R P.1546-5 para la predicción de niveles de potencia para señales de TDT, se ha validado con pruebas de campo, obteniendo como resultado el software [RadiUC](#). Este software también se ha comparado con las predicciones obtenidas con el software ICS-Telecom, y con medidas reales. En base a [RadiUC](#), se ha planteado posibles ubicaciones de Gap Fillers para la ciudad de Cuenca, con el fin de cubrir zonas de sombras localizadas con una predicción inicial.
- Finalmente, se presentan una estimación para cobertura en interiores determinando zonas en las que no se requiere de una antena exterior. La cobertura disminuye de un 82 % a un 66 % de la población total de Cuenca (ver figuras [6.15](#) y [6.16](#)).

7.2. Recomendaciones

- Con respecto a la señal de Ecuador TV monitoreada en Cuenca y el equipo utilizado actualmente en la estación de transmisión, se recomienda que el equipo se sustituya por un equipos similares al usado en las estaciones de Quito con una potencia mayor a 1000 W para una cobertura óptima para la zona urbana de la ciudad. Sin embargo, si se requiere garantizar la señal y mejorar la cobertura más allá de la zona urbana, se podría configurar el



CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

equipo para una potencia mayor a 2000 W.

- Se recomienda la utilización de 3 Gap Fillers para la zonas de Sinincay, Bellavista y Chaullabamba con características similares a los equipos del anexo [F](#), usando paneles para la banda UHF con características técnicas de acuerdo al Anexo [C](#).
- Para la predicción de la cobertura de una señal de TDT, el modelo que se recomienda, bajo el estándar ISDB-Tb, es la recomendación ITU-1546-5 con ajustes correspondientes a las correcciones de acuerdo a la metodología desarrollada en el presente trabajo. Además de las correcciones de la recomendación, se debe añadir ajustes debido a: las características de radiación de la antena transmisora, ángulo de despejamiento y una corrección adicional para el 90 % del tiempo y el 50 % de los sitios de recepción.
- Con respecto a los diferentes formatos de modelos digitales de elevaciones, MDE, se recomienda utilizar la base de datos de la USGS siguiendo el procedimiento de la sección 3.4.1 para obtener el correspondiente a la zona donde se pretende realizar un análisis de cobertura de una señal TDT. El formato que se recomienda utilizar es de tipo INFO ASCII GRID con una resolución de treinta metros ya que es compatible con diferentes programas de simulación. Para un análisis detallado de una zona en particular lo que se recomienda es realizar un levantamiento topográfico y con el MDE realizar modificaciones para obtener resultados más confiables.
- Finalmente, se recomienda seguir con el desarrollo del programa [RadiUC](#) debido a la gran posibilidad de implementar modelos de propagación para diferentes servicios de radiodifusión, esto por la gran ductilidad del código.

Anexo A

Tablas ITU



UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

ANEXO A. TABLAS ITU

Distancia Km	Altura en Metros				Campo Eléctrico Max. dB(uV/m)
	10	20	37.5	75	
1	92.681	94.868	97.072	99.699	106.900
2	81.108	84.291	87.092	90.356	100.879
3	73.480	77.690	81.046	84.741	97.358
4	67.693	72.675	76.575	80.667	94.859
5	63.064	68.556	72.942	77.421	92.921
6	59.229	65.047	69.834	74.687	91.337
7	55.965	61.992	67.096	72.296	89.998
8	53.130	59.293	64.640	70.152	88.838
9	50.628	56.879	62.410	68.195	87.815
10	48.393	54.701	60.370	66.387	86.900
11	46.377	52.719	58.489	64.702	86.072
12	44.542	50.904	56.748	63.122	85.316
13	42.862	42.862	55.127	61.633	84.621
14	41.315	47.680	53.613	60.244	83.977
15	39.883	46.238	52.192	58.888	83.378
16	38.553	44.890	50.856	57.617	82.818
17	37.312	43.626	49.594	56.404	82.291
18	36.151	42.437	48.399	55.244	81.795
19	35.062	41.315	47.265	54.133	81.325
20	34.038	40.254	46.185	53.066	80.879
25	29.704	35.679	41.448	48.276	78.941
30	26.339	31.999	37.521	44.162	77.358
35	29.704	28.930	34.148	40.517	76.019
40	21.411	26.304	31.182	37.224	74.859
45	19.531	24.013	28.535	34.219	73.836
50	17.910	21.986	26.151	31.464	72.921
55	16.485	20.173	23.991	28.936	72.093
60	15.211	18.536	22.027	26.616	71.337
65	14.051	17.044	20.233	24.486	70.642
70	12.982	15.675	18.588	22.530	69.998
75	11.982	14.407	17.071	20.730	69.399
80	11.037	13.223	15.666	19.068	68.838
85	10.136	12.111	14.357	17.527	68.312
90	9.269	11.059	13.129	16.093	67.815
95	8.429	10.056	11.972	14.751	67.346
100	7.612	9.095	10.874	13.489	66.900

Tabla A.1: Valores de Campo Eléctrico Tabulados(1), 50 % de las ubicaciones, 50 % del tiempo

ANEXO A. TABLAS ITU

Distancia Km	Altura en Metros				Campo Eléctrico Max. dB(uV/m)
	150	300	600	1200	
1	102.345	104.591	106.007	106.629	106.900
2	93.803	97.071	99.417	100.484	100.879
3	88.624	92.462	95.443	96.866	97.358
4	84.877	89.107	92.562	94.285	94.859
5	81.920	86.457	90.290	92.275	92.921
6	79.459	84.256	88.406	90.626	91.337
7	77.333	82.365	86.792	89.227	89.998
8	75.447	80.700	85.376	88.010	88.838
9	73.739	79.204	84.110	86.933	87.815
10	72.167	77.839	82.961	85.965	86.900
11	70.703	76.576	81.907	85.965	86.072
12	69.327	75.396	80.928	84.279	85.316
13	68.022	74.282	80.013	83.533	84.621
14	66.780	73.223	79.148	82.838	83.977
15	65.590	72.209	78.327	82.187	83.378
16	64.447	71.233	77.541	81.574	82.818
17	63.345	70.289	76.786	80.993	82.291
18	62.280	69.373	76.056	80.441	81.795
19	61.250	68.480	75.346	79.914	81.325
20	60.250	67.607	74.655	79.408	80.879
25	55.634	63.479	71.375	77.129	78.941
30	51.501	59.617	68.237	75.108	77.358
35	47.713	55.935	65.125	73.200	76.019
40	44.194	52.395	61.999	71.296	74.859
45	40.906	48.992	58.862	69.318	73.836
50	37.834	45.734	55.739	67.213	72.921
55	34.972	42.632	52.661	64.966	72.093
60	32.314	39.698	49.656	62.591	71.337
65	29.852	36.938	46.748	60.122	70.642
70	27.578	34.354	43.955	57.601	69.998
75	25.477	31.941	41.287	55.065	69.399
80	23.536	29.694	38.752	52.542	68.838
85	21.739	27.602	36.351	50.056	68.312
90	20.070	25.654	34.083	47.624	67.815
95	18.515	23.837	31.944	45.527	67.346
100	17.061	22.138	29.928	42.964	66.900

Tabla A.2: Valores de Campo Eléctrico Tabulados (2), 50 % de las ubicaciones, 50 % del tiempo.

ANEXO A. TABLAS ITU

Distancia Km	Altura en Metros				Campo Eléctrico Max. dB(uV/m)
	10	20	37.5	75	
1	92.788	94.892	97.076	99.699	106.900
2	81.956	84.747	87.449	90.672	100.879
3	74.848	78.446	81.617	85.246	97.358
4	69.340	73.650	77.292	81.294	94.859
5	64.860	69.686	73.762	78.128	92.921
6	61.111	66.285	70.727	75.443	91.337
7	57.905	63.306	68.041	73.080	89.998
8	55.112	60.663	65.622	70.947	88.838
9	52.644	58.294	63.421	68.991	87.815
10	50.438	56.151	61.403	67.177	86.900
11	48.448	54.200	59.543	65.484	86.072
12	46.638	52.411	57.819	63.895	85.316
13	44.982	50.764	56.216	62.397	84.621
14	43.459	49.238	54.719	60.982	83.977
15	42.051	47.820	53.316	59.642	83.378
16	40.746	46.497	51.998	58.369	82.818
17	39.531	45.259	50.757	57.158	82.291
18	38.398	44.096	49.583	56.003	81.795
19	37.338	43.002	48.472	54.899	81.325
20	36.344	41.970	47.417	53.843	80.879
25	32.186	37.563	42.829	49.148	78.941
30	29.036	34.091	39.096	45.192	77.358
35	26.584	31.269	35.962	41.762	76.019
40	24.632	28.922	33.274	38.735	74.859
45	23.045	26.935	30.938	36.040	73.836
50	21.725	25.230	28.891	33.629	72.921
55	20.605	23.747	27.083	31.469	72.093
60	19.631	22.442	25.478	29.532	71.337
65	18.766	21.279	24.043	27.791	70.642
70	17.980	20.228	22.749	26.219	69.998
75	17.252	19.267	21.572	24.792	69.399
80	16.564	18.376	20.490	23.489	68.838
85	15.905	17.539	19.487	22.288	68.312
90	15.265	16.745	18.546	21.174	67.815
95	14.638	15.982	17.656	20.130	67.346
100	14.017	15.244	16.806	19.145	66.900

Tabla A.3: Valores de Campo Eléctrico Tabulados(1), 50 % de las ubicaciones, 10 % del tiempo

ANEXO A. TABLAS ITU

Distancia Km	Altura en Metros				Campo Eléctrico Max. dB(uV/m)
	150	300	600	1200	
1	102.345	104.591	106.007	106.629	106.900
2	94.076	97.267	99.511	100.511	100.879
3	89.076	92.812	95.623	96.917	97.358
4	85.451	89.574	92.819	94.359	94.859
5	82.577	87.011	90.613	92.369	92.921
6	80.171	84.877	88.786	90.738	91.337
7	78.076	83.033	87.219	89.356	89.998
8	76.202	81.398	85.842	88.154	88.838
9	74.491	79.917	84.607	87.090	87.815
10	72.904	78.553	83.481	86.134	86.900
11	71.416	77.279	82.440	85.265	86.072
12	70.010	76.077	81.467	84.466	85.316
13	68.673	74.932	80.549	83.727	84.621
14	67.395	73.835	79.675	83.037	83.977
15	66.172	72.778	78.835	82.388	83.378
16	64.997	71.755	78.025	81.775	82.818
17	63.866	70.762	77.239	81.193	82.291
18	62.777	69.796	76.473	80.637	81.795
19	61.725	68.854	75.723	80.104	81.325
20	60.708	67.934	74.987	79.591	80.879
25	56.071	63.622	71.455	77.239	78.941
30	52.015	59.690	68.237	75.108	77.358
35	48.386	56.051	65.125	73.200	76.019
40	45.095	52.651	61.999	71.296	74.859
45	42.094	49.468	58.862	69.318	73.836
50	39.356	46.495	55.739	67.213	72.921
55	36.864	43.729	52.782	64.966	72.093
60	34.600	41.168	50.059	62.591	71.337
65	32.545	38.808	47.476	60.122	70.642
70	30.680	36.638	45.042	57.601	69.998
75	28.984	34.645	42.757	55.065	69.399
80	27.434	32.814	40.618	52.611	68.838
85	26.012	31.127	38.619	50.394	68.312
90	24.698	29.567	36.751	48.253	67.815
95	23.476	28.120	35.005	46.196	67.346
100	22.332	26.771	33.370	44.226	66.900

Tabla A.4: Valores de Campo Eléctrico Tabulados(2), 50 % de las ubicaciones, 10 % del tiempo

Anexo B

Detalle Drive Test

File	
Description	CANAL UNO
Created	14.08.2014 09:49:07
Standard	ISDB-T
TV Analyzer	
Type	R&S ETH
Frequency	659.1428
FEC Sync	Required
Input	50 Ohms
Serial Number	101826
Firmware Version	V4.41
Software	
Version	3.12
CSV Export	
Created	16.08.2014 06:45:58
Software Version	3.12

Tabla B.1: Detalles del Drive Test realizado por ARCOTEL el 14 de agosto del 2014.

Anexo C

Ficha Técnica de Equipos



ANEXO C. FICHA TÉCNICA DE EQUIPOS

Band IV/V horizontal polarization panel Especially suitable for square masts Model: AT15-250

Electrical Specifications				
Frequency range	470-862 MHz			
Peak gain	11.35 dB (ref. $\lambda/2$ dipole)			
3 dB beam width	E-plane: 61°		H-plane: 26°	
Polarization	Horizontal			
Impedance	50 Ohm			
VSWR	≤ 1.1:1 (1.15:1 max)			
Maximum power handling peak sync	1.4 KW	3.5 KW	4.2 KW	6.5 KW
Maximum power handling RMS	1 KW	2.5 KW	3 KW	4.5 KW
Connector type	DIN 7/16	EIA 7/8"	DIN 13/30	EIA 1 5/8"
Pressurization	Non pressurized	Gas barrier on input connector		



(a) Eléctricas

Mechanical & Environmental Specifications		
Materials	Reflector & radiating elements	Aluminium (Stainless steel available on request)
	Radome Radome colour	Fiberglass Red or white on request
Dimensions (W x D x H)		483 x 264 x 983 mm
Maximum wind speed		220 Km/h
Wind load (front)		743 N (@160 Km/h)
Wind load (lateral)		258 N (@160 Km/h)
Weight		10 Kg (model with DIN 7/16 connector)
Typical mounting		Several combinations depending on the radiation pattern required (square typical)
Vertical spacing		1000 mm
Grounding		DC grounded
Temperature range		-40°C to +80°C
Humidity		100%

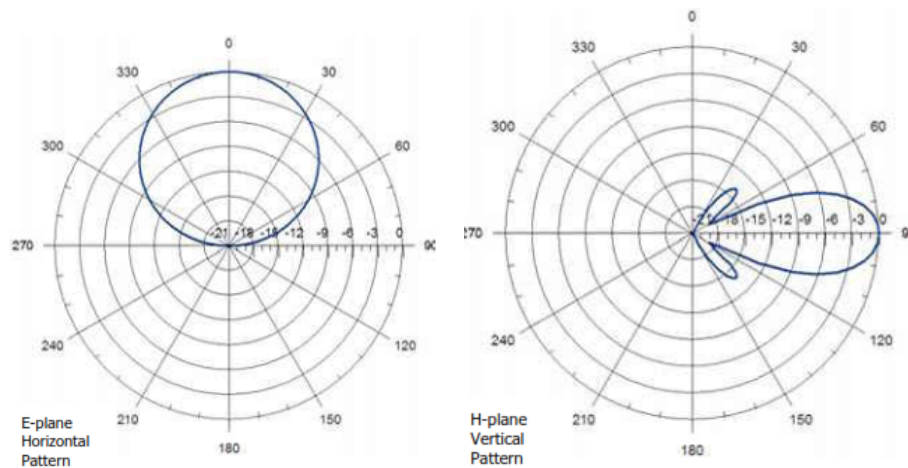
(b) Mecánicas

Figura C.1: Características Técnicas de la Antena [8]

ANEXO C. FICHA TÉCNICA DE EQUIPOS

Antenna System Characteristics					
Number of Bays	Number ant. per bay	Peak gain (dBd)	Weight (Kg)	Wind load (@160 Km/h)	System height (mm)
1	2	8.4	20	1.1 KN	1000
	3	6.6	30	1.6 KN	
	4	5.3	40	1.5 KN	
2	2	11.4	40	2.2 KN	2000
	3	9.6	60	3.2 KN	
	4	8.3	80	3.1 KN	
4	2	14.4	80	4.4 KN	4000
	3	12.6	120	6.4 KN	
	4	11.4	160	6.2 KN	
6	2	16.1	120	6.6 KN	6000
	3	14.4	180	9.6 KN	
	4	13.1	240	9.3KN	
8	2	17.4	160	8.8 KN	8000
	3	15.6	240	12.8 KN	
	4	14.4	320	12.4 KN	

(a) Arreglo de la Antena



(b) Patrón Horizontal

(c) Patrón Vertical

Figura C.2: Características Técnicas de la Antena [8]

Anexo D

Medidas En Puntos Fijos

Las coordenadas de Latitud y Longitud están referidas al hemisferio Sur y al meridiano Oeste respectivamente.

# de Muestra	Lugar	Latitud Grados	Min	Seg	Longitud Grados	Min	Seg.
1	Las Orquideas	0	13	22.878	78	29	22.002
2	Balcón del Valle	0	14	41.484	78	29	46.968
3	Nuevo Amanecer	0	17	35.304	78	33	46.278
4	Chillogallo	0	16	32.838	78	33	9.9
5	La Mena	0	15	28.692	78	32	32.274
6	Chilibulo	0	14	40.008	78	32	21.078
7	San Sebastian	0	14	16.854	78	31	12.714
8	La Ronda	0	13	28.296	78	30	50.064
9	Primavera Alta	0	10	40.076	78	30	57.78
10	Jipijapa	0	10	14.022	78	28	57.612
11	La bota	0	7	1.518	78	27	26.178
12	Mena del Hierro	0	6	44.706	78	30	22.992

Tabla D.1: Valores de coordenadas de los puntos en donde se realizaron las mediciones en puntos Fijos en la Ciudad de Quito. Fuente: ARCOTEL.

Anexo E

Ficha Técnica de Equipos-ECUADOR TV



Electrical specifications

Frequency Range	750 – 862 MHz	
Gain	10.5 dB (ref. $\lambda/2$ dipole)	
3 dB beam width	E-Plane: 62°	H-Plane: 28°
Polarization	Horizontal	
Impedance	50 Ohms	
VSWR	1.1:1	
Maximum power	1 KW (7/16 Connector)	
Connector	DIN 7/16 Female (Other type on request)	

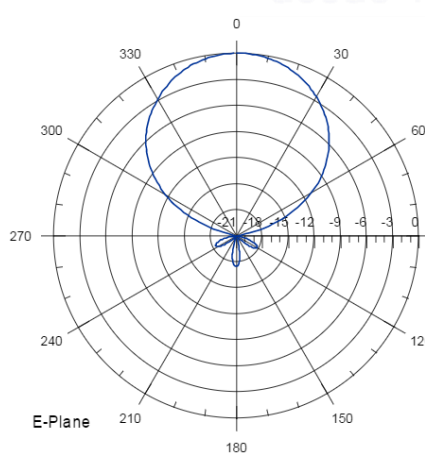
Figura E.1: Características Técnicas de la Antena de ECUADOR TV [8]

ANEXO E. FICHA TÉCNICA DE EQUIPOS-ECUADOR TV

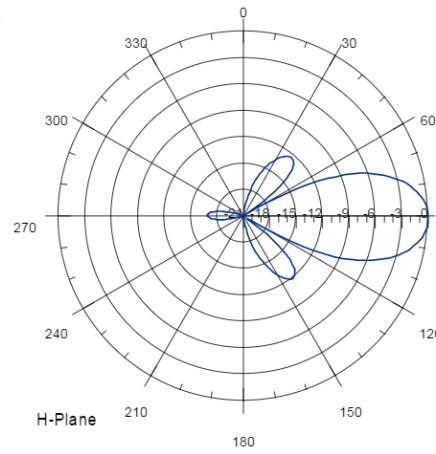
Antenna System Characteristics

Number of BAYS	Number ANT (per Bay)	GAIN (dBd)	Weight (Kg)	Wind Load @ 160 Km/h	System Height(m)
1	2	7.5	14	0.5 KN	730
	3	5.7	21	0.8 KN	
	4	4.5	28	1 KN	
2	2	10.5	28	1 KN	1460
	3	8.7	42	1.6 KN	
	4	7.5	56	1.9 KN	
4	2	13.5	42	1.9 KN	2920
	3	11.7	84	3.3 KN	
	4	10.5	112	3.8 KN	
6	2	15.3	84	2.8 KN	4380
	3	13.5	126	4.9 KN	
	4	12.3	168	5.7 KN	
8	2	16.5	112	3.8 KN	5840
	3	14.7	168	6.6 KN	
	4	13.5	224	7.6 KN	

(a) Arreglo de la Antena



(b) Patrón Horizontal



(c) Patrón Vertical

Figura E.2: Características Técnicas de la Antena de ECUADOR TV [8]

Anexo F

Ficha Técnica de un GAP FILLER Comercial

Entrada RF	
Tipo de señal	Un canal DTV
Margen de Frecuencias	150-900 MHz (sint. continua)
Sensibilidad	-80 ... 0 dBm
Selectividad (Pi = -40 dBm)	> 40 dB / > 80 dB (con C. Ecos)
Figura de ruido	< 8 dB (Pin < -47 dBm)
Conector	N (H) 50 ohm
Pérdidas de retorno	> 18 dB

(a) Niveles de Entrada

Salida RF	
Nivel	-10 ... +10 dBm
Margen de frecuencias	470 a 862 MHz. Resolución: 1 Hz
Conector	SMA (H) - 50 ohm

(b) Frecuencia de Salida

Figura F.1: Características técnicas típicas de un Gap Filler

Modelo (*)	RDE9010	RDE9050	RDE9100	RDE9200	RDE9500	RDE9151
Potencia de salida (antes del filtro):						
- DVB-T/-H/-T2, ISDB-T/TB	1.25 Wrms	6 Wrms	12 Wrms	25 Wrms	60 Wrms	150 Wrms
- ATSC	2 Wrms	9 Wrms	18 Wrms	35 Wrms	125 Wrms	225 Wrms

Figura F.2: Potencia de Salida de un Gap Filler

Anexo G

Tablas de Resultados



ANEXO G. TABLAS DE RESULTADOS

Latitud	Longitud	Campo (dB uV/m)	Latitud	Longitud	Campo (dB uV/m)
2.87886111	78.9803056	67.70	2.88872222	79.0181389	70.10
2.87913889	78.9791667	64.40	2.88880556	79.0009722	80.50
2.88	78.9825556	71.70	2.88883333	79.0215	67.80
2.88141667	78.9844167	69.80	2.88894444	78.9652778	65.00
2.882	78.9860278	64.70	2.88905556	79.0221111	67.30
2.88255556	78.9877222	66.90	2.88947222	79.0024444	79.30
2.88352778	78.973	68.45	2.89005556	78.9646944	68.90
2.88405556	78.9906111	75.40	2.89027778	78.9638889	61.80
2.88469444	78.9916667	63.70	2.89066667	79.0456389	68.10
2.88511111	79.0023333	78.90	2.89097222	79.0020556	67.50
2.88558333	78.971	60.10	2.89136111	79.0474444	69.40
2.88580556	78.9978611	65.80	2.89172222	79.0466667	72.00
2.88594444	79.0023611	84.90	2.89227778	78.9621111	67.60
2.88613889	78.9701111	59.80	2.89238889	78.9616389	71.10
2.88638889	78.9694722	57.50	2.89247222	78.9625556	68.10
2.88661111	78.9982222	80.00	2.89269444	78.9627778	68.20
2.88677778	78.9982222	72.00	2.89302778	78.9629722	69.50
2.88686111	79.0374444	72.00	2.89316667	78.9630556	70.40
2.88694444	79.0369722	77.50	2.89352778	78.9638889	64.40
2.887	79.0343056	60.70	2.89388889	78.9614722	71.50
2.88708333	79.0340278	56.00	2.89419444	78.9597222	59.60
2.88713889	78.9982222	78.80	2.89455556	78.9714722	72.70
2.88719444	79.0096389	72.20	2.89491667	78.96075	64.00
2.88727778	79.0400556	63.90	2.89519444	78.9667222	64.80
2.88738889	78.9674167	62.20	2.89541667	78.9731667	71.30
2.88741667	79.0392778	62.75	2.89561111	79.0161944	69.00
2.88747222	79.0324722	64.10	2.89597222	79.0158333	66.90
2.88755556	78.9983056	70.60	2.89608333	79.0523889	70.30
2.88761111	78.9985833	76.90	2.89611111	79.0540833	84.40
2.88763889	79.0005556	80.20	2.89627778	79.0548333	75.70
2.88769444	79.0311111	68.70	2.89647222	79.0151667	71.20
2.88783333	79.0225833	70.80	2.89683333	78.9764722	63.80
2.88797222	79.0225278	69.90	2.89705556	78.9633611	59.25
2.8885	79.0023611	75.00	2.89727778	79.0236944	77.80
2.88866667	79.0117222	70.60	2.89744444	79.0229722	64.10

Tabla G.1: Tabla de mediciones hechas en el Drive Test para la ciudad de Cuenca

ANEXO G. TABLAS DE RESULTADOS

Latitud	Longitud	Campo (dB uV/m)	Latitud	Longitud	Campo (dB uV/m)
2.89761111	79.0219444	70.60	2.90638889	79.0228611	79.90
2.89780556	78.9719722	76.70	2.90669444	79.0423333	65.80
2.89797222	78.9718889	82.70	2.90697222	79.0404167	75.40
2.89816667	78.9718889	69.60	2.90727778	78.9830833	78.90
2.89833333	78.97175	79.30	2.90761111	78.9794167	62.60
2.8985	79.02	66.50	2.90838889	78.9983056	80.70
2.89872222	78.9830833	69.20	2.90858333	79.0164444	72.10
2.89886111	78.9834167	69.20	2.90880556	79.0393611	71.90
2.89902778	78.9838333	71.80	2.90919444	78.9940556	90.20
2.89927778	78.9714722	63.00	2.90933333	79.0140278	73.20
2.89947222	79.0506389	67.10	2.90980556	78.9940556	81.40
2.89969444	79.0496944	68.20	2.91013889	78.9939167	79.60
2.89991667	78.9710833	62.10	2.91052778	79.0103056	72.80
2.90013889	78.9708611	62.40	2.91083333	79.0092222	75.83
2.90041667	78.9720556	59.80	2.91141667	79.0071667	76.00
2.90069444	79.0496944	76.70	2.91180556	79.0055833	88.10
2.90108333	79.0499167	70.00	2.91227778	79.0036944	84.30
2.90144444	79.0500833	69.50	2.91263889	78.9906111	77.50
2.90180556	78.9855833	69.90	2.91288889	78.9903889	84.74
2.90219444	78.9861667	72.80	2.91308333	79.0005833	86.90
2.90247222	78.9868611	75.00	2.91336111	78.9994444	76.70
2.90291667	78.9879444	73.35	2.91372222	78.9980833	84.70
2.90322222	78.9886111	73.40	2.91394444	78.9971944	85.10
2.90330556	79.0066111	82.20	2.91441667	78.9934444	86.60
2.90352778	78.9760833	83.60	2.91511111	79.0405278	73.20
2.90394444	79.0246667	76.20	2.91627778	79.0406111	77.40
2.90438889	79.0249167	70.80	2.917	79.0405278	63.30
2.90472222	78.9803333	77.30	2.91830556	79.0405556	61.80
2.90494444	79.002	76.10	2.91908333	78.99375	86.80
2.90519444	78.9807778	78.70	2.91975	79.0068889	77.60
2.90538889	79.046	65.10	2.91988889	78.9948333	74.10
2.88783333	79.0225833	70.80	2.92025	79.0121111	66.70
2.9055	79.0458056	66.30	2.92086111	78.9971667	84.50
2.90569444	79.0453611	66.90	2.92122222	78.9983611	73.10
2.90611111	79.0006111	61.70	2.92519444	79.0395	67.50

Tabla G.2: Tabla de mediciones hechas en el Drive Test para la ciudad de Cuenca

Bibliografía

- [1] ITU, “Resolución: ITU-R P.1546-5,” tech. rep., ITU, 2013.
- [2] A. M. Felicísimo, *Modelos digitales del terreno*. Pentalfa Oviedo, 1994.
- [3] F. J. R. Peralta, *Análisis Espacial con Datos Raster en ArcGIS Desktop 9.2*. España, 2006.
- [4] D. H. Ramirez, “Antena de recepción de tv.” <http://itscelectronicab.blogspot.com/2010/05/antena-de-recepcion-de-tv.html>, 2010.
- [5] E. Monachesi, A. M. Frenzel, G. Chaile, C. Agustín, and F. A. G. López, “Conceptos generales de antenas,” *Publicado en febrero del*, 2011.
- [6] G. M. D. C. CUENCA, “División política territorial del cantón cuenca.” http://www.cuenca.gov.ec/?q=page_divisionpolitica, 2010.
- [7] U. Education, “Resources for K-College Teachers.” <http://earthexplorer.usgs.gov/>, 2000.
- [8] R. RF, “Catálogo BroadCast Ed. 13-Ryma.” https://www.academia.edu/5012470/Antenas_Cat%C3%A1logo-Ryma, 2014.
- [9] U. D. de Geografía Universidad de Alcalá, “Introduction to GIS.” <http://www.geogra.uah.es/gisweb/1modulosespanyol/IntroduccionSIG/GISModule/GISTheory.htm>, 2006.
- [10] MINTEL, “Boletín de prensa.” <http://http://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/07/49-BOLETI%CC%81N-DE-PRENSA-APAGO%CC%81N-ANALO%CC%81GICO-SERA%CC%81-EN-EL-2018.pdf>, 2013.



BIBLIOGRAFÍA

- [11] ARCOTEL, “Migración a la TDT permite liberar bandas de frecuencia.” <http://www.arcotel.gob.ec/migracion-a-la-tdt-permite-liberar-bandas-de-frecuencia/>, 2014.
- [12] M. D. T. HUMANO, “Ecuador inauguró Televisión Digital Terrestre.” <http://www.conocimiento.gob.ec/ecuador-inauguro-television-digital-terrestre/>, 2013.
- [13] R. A. Jarrín Arboleda and C. S. Morejón García, *Diseño de una red de frecuencia única para un canal de televisión en la banda UHF con la norma ISDB-Tb para la zona geográfica P*. PhD thesis, QUITO/EPN/2012, 2012.
- [14] CONATEL, “Resolución RTV-697-24-CONATEL-2012,” tech. rep., ARCO-TEL, 2012.
- [15] A. Gómez-Caram, A. Labandera, and G. Marín, “Mediciones y modelo de cobertura para televisión digital terrestre,” Master’s thesis, MONTEVIDEO/Udelar, abril 2014.
- [16] D. Alulema, “La televisión digital terrestre en el ecuador es interactiva,” *EIDOS Universidad Tecnológica Equinoccial*, vol. 5, pp. 12–19, 2012.
- [17] ARCOTEL, “Competencias—Arcotel.” <http://www.arcotel.gob.ec/competencias/>, 2015.
- [18] ARCOTEL, “NORMA TÉCNICA PARA EL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE.” <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/07/Proyecto-resoluci%C3%B3n-norma-tecnica-tdt.pdf>, 2015.
- [19] N. O. Pisciotta, “Sistema ISDB-Tb (primera parte),” *Publicaciones de la Universidad Blas Pascal. Serie Materiales de Investigación*, vol. 3, no. 9, 2010.
- [20] E. y. M. Ministerio de Industria, “Decreto numero 263/013,” tech. rep., Ministerio de Industria, Energía y Minería, 2013.
- [21] J. S. Seybold, *Introduction to RF propagation*. John Wiley & Sons, 2005.



BIBLIOGRAFÍA

- [22] A. F. Araujo Pacheco, “Evaluación de la aplicabilidad de la tecnología cdma 450 en el austro ecuatoriano mediante la utilización de un modelo basado en sistemas de información geográfica,” *Universidad de Cuenca*, 2011.
- [23] J. G. Puebla, “Los sistemas de información geográficos: origen y perspectivas,” *Revista General de Información y Documentación*, vol. 7, no. 1, p. 93, 1997.
- [24] A. Morales, “Los formatos gis raster más populares - mappinggis.” <http://mappinggis.com/2015/12/los-formatos-gis-raster-mas-populares/>, 2015.
- [25] C. A. Balanis, *Antenna theory: analysis and design*. John Wiley & Sons, 2016.
- [26] H. V. Bermeo Moyano, “Implementación de la metodología de análisis de vulnerabilidades a nivel cantonal-cuenca,” *Cedia*, 2013.
- [27] I. N. de Estadística y Censos, “Proyecciones poblacionales.” <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>, 2013.
- [28] J. Luis, “Mirone: A multi-purpose tool for exploring grid data,” *Computers & Geosciences*, vol. 33, no. 1, pp. 31–41, 2007.
- [29] ARCOTEL, “Memorando Arcotel T-001137-VT-H45-OF-MEMORANDO-ITC-C-00006-19-MAR-ARCOTEL,” tech. rep., ARCOTEL, 2014.
- [30] M. J. López Sanmartín and C. E. Villarruel Amendaño, “Diagnóstico de la situación actual de los servicios de radio y televisión en el sur del país mediante el análisis de información del sistema automático de control del espectro radioeléctrico (sacer) de la superintendencia de telecomunicaciones (supertel) y planteamiento de soluciones técnicas para las irregularidades de mayor incidencia,” *Arcotel*, 2013.
- [31] ARCOTEL, “INFORME TÉCNICO No. IN-IRS-2014-0185,” tech. rep., ARCOTEL, 2014.
- [32] ARCOTEL, “ARCOTEL-2015-ITC-C,” tech. rep., ARCOTEL, 2015.



BIBLIOGRAFÍA

- [33] M. Aignerren, “Análisis e interpretación de datos cuantitativos,” *La Sociología en sus escenarios*, 2009.
- [34] A. N. de Telecomunicaciones, “Resolução nº 398,” tech. rep., ANATEL, 2005.
- [35] ATDI, “ICS-TELECOM.” <http://www.atdi.com/ics-telecom/>, 2015.
- [36] Á. V. Saca Tene, “Análisis de cobertura del sistema de televisión digital terrestre para el canal 47 en la ciudad quito.,” Master’s thesis, UPS, febrero 2013.
- [37] I. J. P. Ribeiro, “Guia de Instalacion- GAP FILLER,” tech. rep., Hitachi, 2012.
- [38] B. . A. A.T.V. Poles, “Loft and indoor aerial installations for TV, FM and DAB.” <http://http://www.aerialsandtv.com/loftaerials.html#AttenuationLevelsThroughRoofs>, 2006.

UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867